



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL
Y AUTOMATISMO**

TEMA:

**Diseño de una red de sensores inalámbricos mediante
transmisores y receptores XBee**

AUTOR:

Porras Tobar, Carlos Felipe

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

TUTOR:

Ing. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio, MSc

Guayaquil, Ecuador

11 de septiembre del 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL
Y AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Porras Tobar, Carlos Felipe**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**.

TUTOR

f. _____

Ing. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio, MSc

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL
Y AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Porras Tobar, Carlos Felipe**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño de una red de sensores inalámbricos mediante transmisores y receptores XBee**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2019

EL AUTOR

f. _____

Porras Tobar, Carlos Felipe



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL
Y AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, Porras Tobar, Carlos Felipe

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de una red de sensores inalámbricos mediante transmisores y receptores XBee**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2019

EL AUTOR:

f. _____

Porras Tobar, Carlos Felipe

REPORTE URKUND

The screenshot displays the URKUND web application interface. The browser address bar shows the URL: secure.orkund.com/old/view/54172977-279235-799567#BcExDslwEEXBu7h+Cvuz9nqdg6AUKCKRC9KRNydmW/53GV9ypDQghynUgeNvmJEE6nD5iUuzD...

The main content area shows the following information:

- Documento:** [Titulación Carlos1.docx](#) (D55691518)
- Presentado:** 2019-09-17 09:48 (-05:00)
- Presentado por:** Luis Córdova Rivadeneira (lrcordova@yahoo.com)
- Recibido:** luis.cordova.ucsg@analysis.orkund.com

A summary indicates: "2% de estas 41 páginas, se componen de texto presente en 11 fuentes."

On the right, a "Lista de fuentes" (List of sources) table is visible:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	TESIS KEVIN CHOEZ 24-08-17.docx
	6bb14ca6-5f35-440e-8fb1-41992e5dc999
	8c9bb1cc-a2a8-44c7-8ba0-8861f78a4964
	http://ve.scieelo.org/scieelo.php?script=sci_arttext&oid=51316-48212014000100002
	GONZALEZ BILL.docx
	https://pdfs.semanticscholar.org/9a10/e84b4c1476dc9b21595d47b8d0aeb880436...
	Roberto_Dender_final.docx

The document content area shows the following text:

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO
TEMA: Diseño de una red de sensores inalámbricos mediante transmisores y receptores XBee
AUTOR: Porras Tobar, Carlos Felipe
Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO
TUTOR: Ing. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio, MSc
Guayaquil, Ecuador 11
de septiembre del 2019
INCLUDEPICTURE
"http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo_UCSG.svg/2000px-

Informe de URKUND del trabajo de Titulación del Sr. Carlos Felipe Porras Tobar, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo, el cual presenta 2% de coincidencias

Ing. Luis Córdova Rivadeneira MSc.

Docente – Tutor

AGRADECIMIENTO

En forma infinita a nuestro creador y a su hijo. Ellos han mantenido y acrecientan mi fe. Por su esta, su obra, estoy muy agradecido. Amén.

Al apoyo imperecedero de mi esposa Rosita, siempre presente y motivándome, nunca me ha dejado solo; a mis hijas por su paciencia y entender este esfuerzo; a mis hermanos, especialmente a Santiago, por sus palabras de aliento y permanente participación con ideas para resolver dudas e inquietudes.

A mi tutor, ingeniero Luis Córdova, por su incondicional y activa participación desde el inicio del desarrollo de esta tesis. A los docentes, por enseñarnos y compartir sus conocimientos que han sido de mucha valía. A mis compañeros de aulas, que constituyeron un grupo de y apoyo.

Carlos Felipe Porras Tobar

DEDICATORIA

A la fuente de nuestra existencia,
EL PDRE Y EL HIJO. A Rosita, el
amor de mi vida; a mis hijas y a mis
hermanos, pilares fundamentales de
lo que soy y lo que seré. A ellos,
gracias por su confianza.

Carlos Felipe Porras Tobar



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO**

f. _____

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DEL ÁREA**

f. _____

**M. Sc. PALAU DE LA ROSA, LUIS EZEQUIEL
OPONENTE**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Justificación	3
1.3. Delimitación del problema	4
1.4. Objetivos de la investigación	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	5
1.6. Metodología de la investigación	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Tipos de aplicación	6
2.2. Introducción a las redes de sensores inalámbricos	9
2.3. Comunicación inalámbrica	10
2.3.1. Características generales de una red de sensores inalámbricos	11
2.3.2. Ventajas y desventajas de las redes de sensores inalámbricas	11
2.4. Aplicaciones de redes de sensores inalámbricos	12
2.5. Problemas de diseño de una red de sensores inalámbricos (WSN)	13
2.5.1. Hardware de WSN	13
2.5.2. Sistema operativo	13
2.5.3. Característica de comunicación de la red	14
2.5.4. Esquemas de medios de acceso a la red	15
2.5.5. Despliegue de la red	15
2.5.6. Localización de la red	15
2.5.7. Sincronización de la red	15
2.5.8. Calibración	15
2.5.9. Problemas de las capas de la red	16

2.5.10.	Problemas en la capa de transporte.....	16
2.5.11.	Agregar y difundir datos.....	17
2.6.	Estructura de una red inalámbrica de sensores	17
2.6.1.	Tipo de Topologías de redes	18
2.6.2.	Topología Red BUS	19
2.6.2.1.	Topología Red Anillo	20
2.6.2.2.	Topología Red Estrella	21
2.6.2.3.	Topología Red Malla	23
2.6.2.4.	Topología Red Árbol	24
2.6.3.	Redes inalámbricas.....	25
2.6.3.1.	Redes inalámbricas de sensores (WSN)	25
2.6.3.2.	Redes Ad-Hoc	26
2.7.	Protocolos de una red WSN.....	27
2.8.	Pila de protocolos en redes inalámbricas de sensores	28
2.9.	Sensores	28
2.10.	Tipos de sensores	29
2.11.	Clasificación de los sensores	30
2.11.1.	Sensores analógicos	32
2.11.2.	Sensores inteligentes.....	32
2.11.3.	Características de los sensores.....	33
2.12.	Microcontroladores	34
2.12.1.	Clasificación de los microcontroladores.....	34
2.12.1.1.	Clasificación de los μ C por arquitectura.....	34
2.12.1.2.	Clasificación de μ C por conjunto de instrucciones	35
2.12.1.3.	Clasificación de los μ C por fabricante.....	35
2.13.	Módulos de comunicación ZigBee	36
2.13.1.	Aplicaciones típicas	36
2.13.2.	El estándar ZigBee.....	37
2.13.2.1.	Capa de aplicación (APL)	37
2.13.2.2.	Plano de gestión ZDO	38
2.13.2.3.	Proveedor de servicios de seguridad (SSP)	38
2.13.2.4.	Capa de red (NWK)	38
2.13.2.5.	IEEE 802.15.4.....	38

2.14.	Tipos de dispositivos.....	40
2.14.1.	Dispositivos de función completa (FFD).....	40
2.14.2.	Dispositivos de función reducida	40
2.15.	Módulo XBee PRO S2.....	40
2.16.	Diferencia entre XBee y ZigBee.....	41
2.17.	Especificaciones del módulo de RF XBee/XBee-PRO ZB RF	41
2.18.	Modos de funcionamiento.....	42
2.18.1.	Coordinador	42
2.18.2.	Router	43
2.18.3.	Dispositivo final	43
2.19.	Software XCTU	43
2.20.	Fuentes de alimentación.....	45
2.20.1.	Celdas solares	45
2.20.2.	Baterías	46
2.21.	Interconexión del conjunto batería-panel solar.....	47
CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN		49
3.1.	Consideraciones generales.....	49
3.2.	Descripción del diseño de la red.....	50
3.2.1.	Topología y arquitectura de la red.....	50
3.2.2.	Funcionalidad de la red	51
3.3.	Características y funciones del sistema de red	52
3.4.	Configuración de los radios XBee PRO S2.....	53
3.4.1.	Configuración del Coordinador.....	53
3.4.2.	Configuración del Router	54
3.4.3.	Configuración del Router/Sensor/End	55
3.5.	Pruebas de comunicación entre módulos XBee PRO S2	56
3.6.	Selección de microcontrolador	59
3.7.	Desarrollo de la programación	59
3.8.	Implementación y pruebas de la red inalámbrica	60
3.9.	Operación de la red.....	62
3.10.	Elementos de los nodos.....	62
3.10.1.	Elementos del nodo Coordinador	62
3.10.2.	Elementos del nodo Router.....	63

3.10.3.	Elementos de los nodos Sensores	64
3.11.	Pruebas de funcionamiento de la red de sensores	65
3.12.	Cálculo de costos de construcción e implementación.....	66
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		67
4.1.	CONCLUSIONES	67
4.2.	RECOMENDACIONES	67
4.3.	TRABAJOS FUTUROS	68
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA		69

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo II:

Figura 2. 1: Principio de Comunicación Inalámbrica.....	11
Figura 2. 2: Aplicaciones de las WSN.....	12
Figura 2. 3: Estructura de un Nodo Sensor.....	13
Figura 2. 4: Estructura básica de una WSN.....	17
Figura 2. 5: Algunos Nodos Sensores Comerciales.	18
Figura 2. 6: Topologías de redes.	18
Figura 2. 7: Topología BUS.	19
Figura 2. 8: Topología en Anillo.	20
Figura 2. 9: Topología en Estrella.	22
Figura 2. 10: Topología en Malla.	23
Figura 2. 11: Topología en Árbol.	24
Figura 2. 12: Comunicación inalámbrica.	25
Figura 2. 13: Esquema de cobertura una red AD-HOC.....	26
Figura 2. 14: Estructura de enrutamiento de redes inalámbricas.....	27
Figura 2. 15: Modelo de la pila de protocolo para WSN.....	28
Figura 2. 16: Un sensor directo puede incorporar algunos transductores.	29
Figura 2. 17: Posiciones de sensores en el sistema de adquisición de datos.	30
Figura 2. 18: Un termopar proporciona una señal analógica para un proceso.	31
Figura 2. 19: Esquema de circuito de calibración de termistor mediante interruptores.	31
Figura 2. 20: Gráfico de la función de transferencia linealizada de termistor.....	32
Figura 2. 21: Diagrama en bloque de un sistema de sensor inteligente.....	33
Figura 2. 22: Microcontrolador INTEL 8051.....	35
Figura 2. 23: Microcontrolador Motorola 68HC05.	35
Figura 2. 24: Microcontrolador AVR de Atmel.	36
Figura 2. 25: Microcontroladores familia PIC	36
Figura 2. 26: Arquitectura de la pila ZigBee.	37
Figura 2. 27: Módulo XBee PRO S2.....	41
Figura 2. 28: Pestaña para programación de los radios XBee PRO S2.	44
Figura 2. 29: Montaje de un sistema de paneles solares en el techo de un hogar.	45
Figura 2. 30: Paneles solares conectados en serie.	46

Figura 2. 31: Paneles solares conectados en paralelo.....	46
Figura 2. 32: Batería de 12 VDC para celda solar.....	47
Figura 2. 33: Diagrama de bloques simplificado.....	47
Figura 2. 34: Interconexión de un sistema de energía con panel solar.....	47

Capítulo III:

Figura 3. 1: Esquema de proceso a seguir para diseño de proyecto.....	49
Figura 3. 2: Topología de la red que se usará en este proyecto.....	50
Figura 3. 3: Arquitectura para esta WSN con tres niveles jerárquicos.....	51
Figura 3. 4: Funcionalidad de la red.....	52
Figura 3. 5: Iconos en la etiqueta que indicará la función de cada XBee en la red.....	53
Figura 3. 6: Etiqueta donde se muestra la configuración del módulo XBee PRO S2.....	54
Figura 3. 7: Pestañas de configuración parámetros de los módulos XBee PRO S2.....	54
Figura 3. 8: Etiqueta del Router.....	54
Figura 3. 9: Parámetros de configuración del Router.....	55
Figura 3. 10: Etiqueta del Router/sensor.....	55
Figura 3. 11: Parámetros de configuración del Router Sensor/End.....	55
Figura 3. 12: Coordinador enviando paquete de datos “Coordinador”.....	56
Figura 3. 13: Router mostrando datos enviado por el Coordinador.....	57
Figura 3. 14: Router mostrando datos enviados al Coordinador.....	57
Figura 3. 15: Coordinador mostrando datos enviados por el Router.....	57
Figura 3. 16: Nodo sensor 1 respondiendo solicitud de Router.....	58
Figura 3. 17: Nodo sensor 2 respondiendo solicitud de Router.....	58
Figura 3. 18: Nodo sensor 3 respondiendo solicitud de Router.....	58
Figura 3. 19: Nodo Router mostrando respuesta de nodos sensores.....	59
Figura 3. 20: Se aprecia el encabezado del programa que gobierna red de datos.....	60
Figura 3. 21: Pestaña del quemador de PIC, PICKIT3.....	60
Figura 3. 22: Potenciómetro de 5K Ω para simular actividad del sensor de humedad.....	61
Figura 3. 23: Tablero o protoboard con el circuito armado y funcionando.....	61
Figura 3. 24: Se muestra LCD con valores de parámetros en detalle.....	62
Figura 3. 25: Configuración de red para hacer monitoreo de variables agrícolas.....	62
Figura 3. 26: Diagrama de circuito del nodo Coordinador.....	63

Figura 3. 27: Diagrama de circuito del nodo Router	64
Figura 3. 28: : Diagrama de circuito del nodo sensor.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo II:

Tabla 2. 1: Tipos de sensores por la variable medida y aplicación.	30
Tabla 2. 2: Características Estáticas de los sensores.	33
Tabla 2. 3: Aspectos más relevantes del estándar 802.15.4.	39
Tabla 2. 4: Especificaciones Técnicas de los módulos XBee/XBee-PRO ZB	42

Capítulo III:

Tabla 3. 1: Datos técnicos del PIC16F873A.	59
Tabla 3. 2: Tabla de resultados datos perdidos o falla vs cobertura.	65
Tabla 3. 3: Tabla de resultados datos perdidos o falla vs voltaje.	66
Tabla 3. 4: Costos de los elementos que se usaron en la implementación de la red.	66

RESUMEN

Este trabajo muestra cómo se desarrolla una red de sensores inalámbricos usando como elementos de comunicación el dispositivo transceiver XBee PRO S2, la red basa su funcionamiento con microcontroladores PIC16F873A de 8 bits, los que controlan el flujo de datos tomados desde los sensores, para mostrarlos en una pantalla LCD. Las investigaciones realizadas sobre redes inalámbricas son muchas, pero de igual forma son de innumerable aplicación. Se ha realizado el desarrollo de una red aplicable para ayudar en las necesidades del hombre de nuestro campo costero agrícola. Como resultado se ha obtenido una red de sensores inalámbricos mediante transceiver XBee PRO S2, escalable, flexible, de baja transferencia de datos, programable, de bajo consumo energético, auto-sostenible y lo más importante accesible por el bajo costo. Recientes trabajos muestran aplicaciones de las redes inalámbricas para monitoreo en domótica e inmótica, monitoreo de procesos industriales y en la medicina para monitoreo en la salud de pacientes. Este trabajo se perfila y se puede llevar hacia otros entornos físicos de investigación y desarrollo de la agroindustria y la acuicultura.

Palabras claves: SENSORES, REDES, MICROCONTROLADORES, XBEE, ESCALABILIDAD, COMUNICACIONES.

ABSTRACT

This work shows how a mobile sensor network is developed using the XBee PRO S2 transceiver device as communication elements, the network bases its operation with 8-bit PIC16F873A microcontrollers, which controls the flow of data taken from the sensors, to display them in a LCD screen. There are many investigations conducted on wireless networks, but they are also of innumerable application. The development of an applicable network has been carried out to help the needs of the man in our agricultural coastal field. As a result, a network of wireless sensors has been obtained through XBee PRO S2 transceiver, scalable, flexible, low data transfer, programmable, low energy consumption, self-sustainable and most importantly accessible by low cost. Recent works show applications of wireless networks for home and building automation, industrial process monitoring and medicine for monitoring patient health. This work aims and can be taken towards other physical research and development environments of agriculture and why not in aquaculture.

Key words: SENSORS, NETWORKS, MICROCONTROLLERS, XBEE, SCALABILITY, COMMUNICATIONS.

INTRODUCCIÓN

El vertiginoso avance y desarrollo tecnológico de la electrónica y otras ciencias, ha permitido al hombre en los últimos tiempos mejorar su comodidad y forma de vivir; tanto así que, la tecnología está inmersa en las áreas: residencial, industrial, comunicaciones, vigilancia y seguridad, sin dejar de lado el área de la salud. Muchos de los sistemas tienden a ser autónomos para mejorar su funcionabilidad, controlar mejor los procesos y obtener como resultado un producto de calidad.

Esta tecnología de redes apunta al diseño de una red de sensores inalámbricos con autonomía energética para monitorear parámetros agrícolas y mejorar el aprovechamiento de riego y productividad de una plantación, siendo el mismo una forma de conservar el medio ambiente sin invadir a la naturaleza, obteniendo un producto de calidad. Esta red puede ser aprovechada y aplicada en la agricultura para controlar el riego de medianas y grandes áreas de terrenos con sembríos.

En el campo agrícola, las formas de riego agrario en muchos de los casos son caóticas debido: a la ubicación geográfica del terreno; al clima, especialmente en las épocas de sequía; y, al muestreo para analizar o medir la humedad del terreno, para así controlar la cantidad agua de riego del terreno sembrado; como resultado no se cumple con los parámetros de humedad requeridos por cada plantación, establecidos en normas y estándares por los organismos estatales.

El diseño consta de una red de sensores inalámbricos (WSN-Wireless sensor networks) con autonomía energética y de bajo costo. Está desarrollado con tecnología ZigBee, bajo norma IEEE 802.15.4 y cuyos radios tienen una cobertura de entre 50 y 90 metros en línea de vista abierta, trabajan a una frecuencia de 2.40 GHz. Se enlazan formando nodos en una red TREE, con un nodo Coordinador, un nodo Router y tres nodos Router/end. Este sistema se perfila como una solución alterna y de gran expectativa para agricultores de bajos y medianos recursos. El sistema monitorea y muestra parámetros de humedad del terreno. El usuario, puede visualizar en el sistema través de un LCD, los valores de dichos parámetros.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Planteamiento del problema

Indudablemente, es conocido que nuestro país goza de dos temporadas climáticas bondadosas. La primera, de diciembre a mayo, en donde el clima se muestra caluroso y con abundantes lluvias; y, la segunda, de junio a noviembre, en donde la temporada se muestra seca y con temperaturas bastantes frescas. Sin embargo, esto no quiere decir que estas estaciones tengan un constante comportamiento debido a los cambios climáticos.

Hay organismos estatales como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) que informa diariamente sobre el aumento de la cantidad de rayos UV a los que se está expuesto; la temperatura y la humedad relativa del ambiente; y, principalmente las precipitaciones pluviales (INAMHI, 2014). Todos estos parámetros en nuestra zona geográfica se ven afectados grandemente debido al cambio climático (FAO, 2018).

De lo expuesto y establecido anteriormente, con la primera estación climática puede ocurrir lo contrario, mucho calor y pocas lluvias, lo que empobrece las reservas de agua especialmente para riego agrícola. Consecuentemente, el verano ya no es de condición normal. Esto trae conflictos a los agricultores de bajos y medianos recursos que tienen cultivos de corto y mediano ciclo, debido a la falta de agua, deteriorando así su economía.

Frente a esta situación, se requieren soluciones que permitan ayudar a estos agricultores con el riego en sus plantaciones, aprovechado y haciendo eficiente el consumo de agua; y, reduciendo al mismo tiempo las afectaciones que produce el impacto del cambio climático. Por lo tanto, surge la pregunta: ¿es posible diseñar una red inalámbrica para monitorear parámetros agrícolas mediante sensores inalámbricos y de bajo costo?

1.2. Justificación

Las telecomunicaciones proporcionan innumerables soluciones y en cualquier ámbito, sean estos: doméstico, industrial, de la salud, agrícola, a más de otros. Muchos diseñadores y fabricantes de esta clase de equipos han desarrollado diversas plataformas y tecnologías para ponerlas al servicio de las empresas desarrolladoras y éstas a su vez al usuario o público en general.

Las nuevas tecnologías se están desarrollando vertiginosamente, presentando ventajas cada vez mayores y a la hora de diseñar un sistema bajo condiciones específicas, hay que definir cuál escoger. Dentro de estos sistemas hay una de ZigBee Alliance, que son un conjunto de protocolos para comunicación inalámbrica de alto nivel, con uso de radios digitales de bajo consumo y costo.

En el presente trabajo se mostrará el diseño de una red para monitorear parámetros agrícolas mediante una red de sensores inalámbricos, usando radios XBee Pro S2 con tecnología de ZigBee. Este sistema, permitirá establecer comunicación entre los radios, de tal manera que se mida los parámetros humedad, temperatura y pH del suelo, desde varios puntos de muestreo en el terreno de cultivo.

De esta forma, se podrá conocer las necesidades del terreno, mejorando y aumentando la calidad de la producción; además de la reducción del consumo de agua. Cabe mencionar que el sistema es amigable con el ambiente debido a la energización de cada nodo por medio de celdas solares, es decir el sistema es autónomo energéticamente, con baterías recargables y de larga duración.

1.3. Delimitación del problema

Este trabajo está dirigido específicamente al monitoreo de parámetros agrícolas como humedad, temperatura y pH en un terreno de cultivo, con una superficie promedio de 1ha. Se seguirá un modelo de red en árbol, que utilizará los radios XBee Pro S2, sensores, microcontrolador PIC16F973A. Se harán pruebas de cobertura del sistema de RF y distancias para conectividad de los nodos sensores. Se podrá visualizar los parámetros humedad, temperatura y pH del terreno en cuestión, por medio de una pantalla LCD.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Diseñar una red de sensores inalámbricos (WSN) mediante módulos XBee PRO S2, con un microcontrolador PIC16F873A programado en lenguaje C++, que permitirá medir la humedad, temperatura y pH en un terreno agrícola para cultivo. cuyos datos podrán ser almacenados en una base de datos para luego ser tabulados y analizados.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar y conocer los parámetros más comunes que intervienen en un terreno de cultivo.
- Establecer y determinar el tipo de red inalámbrica y el número de nodos y modelo de radio a utilizar en esta red inalámbrica.
- Realizar pruebas de conectividad en el campo y funcionamiento de lectura de parámetros.
- Comprobar el alcance y la cobertura de los radios.
- Validar el funcionamiento de la red sensores inalámbrica.

1.5. Hipótesis

En este trabajo se aspira a obtener una red sencilla, formada con elementos de bajo costo; de alta eficiencia; baja tasa de transferencia y bajo consumo de energía; que sea flexible; dinámico; escalable y al mismo tiempo adaptativo en cualquier disposición como respuesta a la conectividad entre sus elementos.

1.6. Metodología de la investigación

En general, en un diseño de redes inalámbricas, se encuentran elementos de los que depende la funcionabilidad de la red y otros que están inmersos por defecto, entre los cuales se tienen: conectividad, latencia, eficiencia, etc. Se utilizará el método de investigación descriptivo cuantitativo y no experimental. En este método se investiga, se miden variables de interés, se asimilan y se valoran para tomar decisiones. (Hernández Sampieri, 2014)

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Tipos de aplicación

Actualmente se dispone de elementos sensores en electrónica, que son utilizados para el control de procesos en plantas industriales. Este tipo de dispositivos generó en los diseñadores un mundo de posibilidades para idear y crear aplicaciones, protocolos y sistemas capaces de facilitar el trabajo a los seres humanos a la vez que reducen sus costos. Las Redes Inalámbricas de Sensores están compuestas por decenas, cientos o incluso miles de estos sensores electrónicos que operan con baterías, llamados nodos sensores (motes) y que son distribuidos a lo largo de un ambiente de interés particular. Por ello se considera que cada sensor inalámbrico en una red ad-hoc recolecta datos de su ambiente, como la cantidad de luz, temperatura, humedad, vibraciones y otros factores ambientales. Cada nodo, envía los datos recolectados a sus vecinos, estos a su vez a sus propios vecinos y así sucesivamente, hasta que la información alcanza un destino específico, donde será procesada por computadores, brindando una buena imagen del ambiente circundante en tiempo real. (Pérez, Urdaneta, & Custodio, 2014)

Los antecedentes de esta investigación se basaron en el desarrollo de aplicaciones hechas en WSN, y el impacto de la seguridad en las redes inalámbricas con sensores IEEE 802.15.4. Inicialmente, la meta primordial fue una propuesta para la aplicación de redes con sensores inalámbricos, los cuales se utilizaron para el monitoreo y control de variables físicas en distintos campos de aplicación, capaces de comunicarse de manera inalámbrica, con capacidad de procesamiento y autonomía propia, con la finalidad de determinar los factores necesarios para un funcionamiento óptimo; y en la segunda la información suministrada proporcionó los aportes necesarios para entender como las redes inalámbricas son fundamentales para mejorar la seguridad en procesos críticos y que permite la obtención de una gran escalabilidad, la flexibilidad y la fiabilidad en el manejo de la información. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue diseñar un método de trabajo para establecer una red con sensores inalámbricos, con el propósito de aprender a analizar las características y comportamiento de cualquier grupo de dispositivos comerciales con este tipo de sensores. (Pérez, Urdaneta, & Custodio, 2014)

Los últimos avances tecnológicos han hecho realidad el desarrollo de unos

mecanismos distribuidos, diminutos, baratos y de bajo consumo, que, además son capaces tanto de procesar información localmente como de comunicarse de forma inalámbrica. La posibilidad de implementar este tipo de dispositivos de bajo costo y elevada duración sin mantenimiento capaces de obtener información del entorno y reenviarla de forma inalámbrica a un centro de coordinación ofrece posibilidades inimaginables en multitud de aplicaciones. En el entorno de redes inalámbricas de sensores los mayores desafíos se encuentran en minimizar dos factores fundamentales: coste y consumo, maximizando el tiempo de servicio. Un nodo sensor generalmente es un sistema basado en microcontrolador que incorpora un módulo de Radio Frecuencia (RF), una unidad de sensorización, encargada de recoger los datos del entorno, todo ello alimentado mediante una batería. En la actualidad, asociaciones de empresas que trabajan en el desarrollo de estándares de calidad y productos rentables, trabajan con una tecnología basada en ZigBee la cual posee una amplia gama de aplicaciones y productos en la industria mundial, ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4 El objetivo de este artículo es conocer en profundidad los conceptos relacionados con las redes de sensores, la tecnología ZigBee y su desarrollo a través del ZDO. (García, Manotas, & Acosta, 2014)

WSN (WIRELESS SENSOR NETWORKS), es una red de sensores inalámbrica es una colección de nodos organizados en una red cooperativa. Las redes de sensores son la clave para la recopilación de la información que necesitan los entornos inteligentes, ya sea en edificios, servicios públicos, domótica, en sistemas industriales, transporte u otros lugares. La creación de redes de sensores inalámbricos es una tecnología emergente que tiene una amplia gama de aplicaciones potenciales, incluyendo la vigilancia del medio ambiente, espacios inteligentes, los sistemas médicos y la exploración robótica. Las redes inalámbricas de sensores comúnmente se les denominan WSN (Wireless Sensor Network). Las WSN es un sistema compuesto por Tx/Rx (transceptores) RF, sensores, microcontroladores y fuentes de poder, que generalmente es autoorganizable, autoconfigurable, autodiagnosticable y autoreparable. Las WSN han estado atrayendo un creciente interés por apoyar a una nueva generación de sistemas de computación ubicua con un gran potencial para muchas aplicaciones, tales como vigilancia, control medioambiental, control de atención médica o de domótica. (Vera, Barbosa, & Pavón, Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales, 2015)

Una red inalámbrica de sensores permite obtener información de un fenómeno físico, procesando la información para luego ser enviada a un nodo central de coordinación en forma remota, pero con ciertas restricciones. Ahora bien, para el diseño de una red de este tipo existen diversas tecnologías de comunicación inalámbrica, pero este artículo se centra en la utilizada por los módulos de radiofrecuencia XBee-Pro® S2B. El protocolo IEEE 802.15.4 especifica la subcapa MAC y la capa física para LR-WPAN (en lo sucesivo designada como PAN, o sea, red de área personal. El protocolo 802.15.4 IEEE está muy asociado con el protocolo ZigBee®, que especifica las capas superiores del protocolo IEEE 802.15.4 para proporcionar una pila de protocolo completa, de bajo costo, bajo consumo de energía y de baja tasa de transmisión en comunicaciones inalámbricas. ZigBee® / IEEE 802.15.4 es una tecnología inalámbrica basada en estándares diseñados para satisfacer las necesidades de las redes de bajo costo, de sensores inalámbricos de baja potencia y de control en casi cualquier mercado, además se puede utilizar en casi cualquier lugar, es fácil de implementar y requiere poca energía para funcionar. Los módulos XBee son dispositivos utilizados para enviar y recibir datos de forma inalámbrica valiéndose del protocolo IEEE 802.15.4, los cuales pueden funcionar dentro de una topología de red de diferentes maneras, incluyendo el Coordinador, Router y End Device. La topología de una red de sensores inalámbricos puede ser clasificada en cuatro categorías: topología punto, topología de estrella, topología de clúster árbol y topología de malla. (Vera, Barbosa, & Pavón, Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales, 2015)

Una WSN se refiere a un conjunto de sensores espacialmente distribuidos, propuestos para supervisar, registrar y organizar los datos recogidos enviados a una ubicación central de forma autónoma, lo que se plantea es diseñar una red WSN que permita el monitoreo de algunas variables ambientales. A partir de la incorporación y acople de diversos dispositivos de sensado y de comunicación se realiza una conectividad inalámbrica mediante un estándar o protocolo inalámbrico que permita capturar señales provenientes del medio ambiente. Algunos de esos estándares aprovechables incluyen radios de 2.4 GHz basados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 (Wi-Fi) o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 MHz. ZigBee es un protocolo de comunicaciones inalámbricas establecido por la Alianza ZigBee que es compatible con más de 70 empresas asociadas. Añade red, seguridad y software de aplicación a la norma IEEE 802.15.4, debido a su bajo

consumo de energía y la configuración de red simple, ZigBee es considerado el protocolo más prometedor para los sensores inalámbricos, por lo tanto, se propone en la siguiente investigación hacer uso de esta tecnología acoplándose a las necesidades de la red diseñada. (Vera, Barbosa, & Pabón, Acople de sensores en la medición de variables ambientales usando tecnología ZigBee, 2014)

La idea de una red de sensores surge gracias a las posibilidades que nos da la tecnología de crear una red de dispositivos de captura constante, que nos permita registrar y almacenar una determinada información, transmitir datos de un dispositivo a otro, y después retransmitir toda la información para almacenarla en una localización central. Teniendo siempre en cuenta que todo ello funcionará con un gasto de energía muy reducido. Una red de este tipo es un flexible y poderoso instrumento para poder monitorizar complejos sistemas, donde situar los sensores puede ser imposible de cualquier otra manera. El objetivo es la recolección de los datos teniendo como única limitación las características de los sensores. Se puede crear una infraestructura sólida y barata que permita que cada sensor proporcione unas medidas y una información detallada de una zona localizada, lo cual resultaría difícil de obtener con la instrumentación tradicional. Los dispositivos son unidades autónomas que constan de un microprocesador, una fuente de energía, un radio transceptor y un elemento sensor. A medida que este tipo de redes sean más utilizadas y, a los avances tecnológicos constantes con los semiconductores, los precios bajarán a la vez que las prestaciones subirán. Las aplicaciones en las que podrán utilizarse se multiplicarán, así como las áreas de investigación científica. (Fernández & Ordieres, 2009)

2.2. Introducción a las redes de sensores inalámbricos

Hoy en día, se encuentran sensores en casi todos los sistemas y equipos electrónicos. La mayoría de ellos, no poseen la habilidad de hacer procesamiento y análisis de los datos que detectan, realizando su trabajo como un transductor que hace una medición de una o más variables del entorno en donde se encuentran instalados. (Tiwari, Saxena, & Bhavsar, 2015)

Las tecnologías inalámbricas difieren en una serie de dimensiones, sobre todo en cuánto ancho de banda que proporcionan y qué tan lejos pueden estar los nodos de comunicación. Otra importante diferencia que incluye es tal vez la de los espectros

electromagnéticos que se eligen y exactamente cuánta energía consumen (muy importante para los nodos móviles). (Tiwari, Saxena, & Bhavsa, 2015)

Los sensores son los elementos que interactúan con el medio físico del sistema, que permiten medir variables físicas que se desean controlar dentro de un proceso industrial, seguridad, ambiente, agricultura, etc. Estas magnitudes físicas, servirán de fuente de información para ser usadas en el control de un proceso, de donde fueron obtenidas. (Tiwari, Saxena, & Bhavsa, 2015)

Uno de los enlaces inalámbricos más utilizados en la actualidad es generalmente asimétrico, ambos puntos finales suelen ser del tipo de nodos. Un punto final, a veces denominado estación base, normalmente no tiene movilidad, pero puede tener un enlace cableado (o, en el mejor de los casos, de alto ancho de banda) a Internet u otras redes. (Tiwari, Saxena, & Bhavsa, 2015)

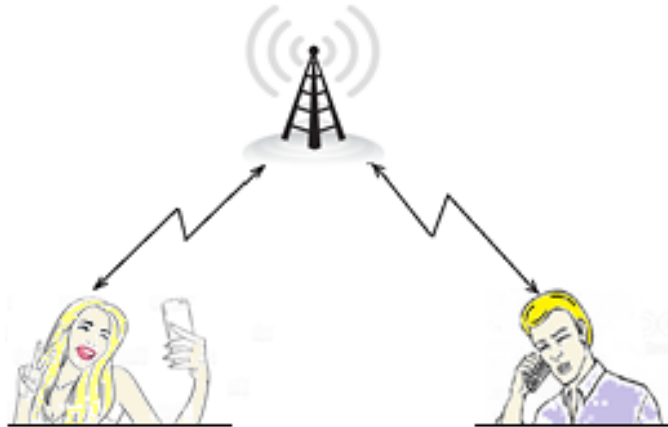
Estas redes de sensores inalámbricos (WSN) pueden incluir cientos de dispositivos con nodos sensores multifuncionales de bajo consumo, que operan dentro del entorno, que tienen capacidades de detección, computan y comunican. Las partes de un nodo son: un sensor, un convertidor AD, una CPU, una unidad eléctrica, y una unidad de comunicación. (Tiwari, Saxena, & Bhavsa, 2015)

2.3. Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica es la transferencia de información entre dos o más puntos que no están conectados por un conductor eléctrico. Las tecnologías inalámbricas más comunes utilizan la radio, figura 2.1. Con las ondas de radio, las distancias pueden ser cortas, como unos pocos metros para la televisión o miles o incluso millones de kilómetros para las comunicaciones de radio en el espacio profundo. (Muthu & Sonya, 2018)

Otros ejemplos de aplicaciones de la tecnología inalámbrica de radio incluyen unidades de GPS, apertura de puertas, ratones de computadora inalámbricos, teclados y audífonos, receptores de radio, televisión satelital, televisión abierta y teléfonos inalámbricos. El transmisor no necesita sobre quiénes son los receptores. No hay requisitos para crear canales dúplex. El número de posibles usuarios del servicio no influye en el

transmisor.



*Figura 2. 1: Principio de Comunicación Inalámbrica.
Fuente: Elaboración propia.*

2.3.1. Características generales de una red de sensores inalámbricos

La característica clave de cualquier red de sensores inalámbricos incluye:

- Restricciones en el consumo de energía para nodos que usan baterías de energía.
- Posibilidad de hacer frente a fallos de nodo.
- Movilidad de nodos.
- Heterogeneidad de los nodos.
- Escalabilidad a gran escala de despliegue.
- Capacidad para soportar condiciones ambientales adversas.
- Simplicidad de uso.
- Diseño de capa cruzada (Tiwari, Saxena, & Bhavsar, 2015)

2.3.2. Ventajas y desventajas de las redes de sensores inalámbricos

Como ventajas se puede anotar lo siguiente:

- Las configuraciones de red pueden llevarse a cabo sin infraestructura fija.
- Adecuado para lugares no accesibles, zonas de campo o bosques grandes.
- Flexible si hay una situación aleatoria cuando se necesita una estación de trabajo adicional o para someterse a particiones físicas.
- El precio de implementación es barato, evita el cableado.
- Se puede acceder utilizando un monitor centralizado. (Tiwari, Saxena, & Bhavsar, 2015)

Las desventajas de las redes de sensores inalámbricos se pueden resumir como sigue:

- Velocidad más baja en comparación con una red cableada.
- Más complicado de configurar en comparación con una red cableada.
- Fácilmente interrumpido por el entorno (paredes, microondas, grandes distancias debido a la señal atenuación, etc.).
- Es fácil ingresar para los hackers.
- Todavía sigue siendo costoso. (Tiwari, Saxena, & Bhavsa, 2015)

2.4. Aplicaciones de redes de sensores inalámbricos

Muchas de las aplicaciones de las WSNs implican seguimiento, monitoreo y control, figura 2.2. Las WSNs son principalmente usadas para rastreo de objetos, monitoreo en agricultura, detección de incendios, control de reactores nucleares y seguimiento del tráfico. El monitoreo de área es una aplicación muy común de WSNs, mismo que se implementa en una región donde se puede monitorear algún evento. (Tiwari, Saxena, & Bhavsa, 2015)



Figura 2. 2: Aplicaciones de las WSN.

Fuente: <http://telecomunicaciones.edu.ec/images/articulos/iot/Figura%201.png>

Cuando los sensores detectan cambios en el evento que están siendo monitoreado (temperatura, presión, humedad, sonido, luz, flujo electromagnético, vibración, etc.), deben informarse por lo menos a una de las estaciones base, con lo que se inicia la acción y procesos determinados. Debido a que algunas redes de sensores inalámbricos son fáciles de instalar, también han sido fáciles de cambiar si las necesidades de aplicación cambian. (Tiwari, Saxena, & Bhavsa, 2015)

Entre muchas aplicaciones que tienen las redes de sensores inalámbricos, destacan las siguientes: gestión de procesos industriales, vigilancia sanitaria, sensado ambiental y terrestre, domótica e inmédica, detección de deslizamientos de terrenos, etc. Las

instalaciones inalámbricas de nodos de sensores en campo abierto, pueden ser alimentados con baterías y/o con paneles solares. (Tiwari, Saxena, & Bhavsa, 2015)

2.5. Problemas de diseño de una red de sensores inalámbricos (WSN)

Además de la comunicación inalámbrica no confiable, los nodos de una WSN tienen que trabajar con recursos limitados. como memoria limitada, capacidad de procesamiento y cálculo limitada, almacenamiento limitado, energía limitada de la batería, capacidad de comunicación limitada. (Gupta & Sikka, 2015) En relación al diseño de la red de sensores inalámbricos se discuten diferentes factores que se verán a continuación.

2.5.1. Hardware de WSN

En publicación titulada “Design Issues and Challenges in Wireless Sensor Networks” por Gupta & Sikka (2015), se indica que los sensores miden los cambios en un entorno físico como: presión, humedad, sonido, vibración y cambios en parámetros de la salud de personas como la presión arterial, el estrés y los latidos del corazón. La estructura del nodo sensor es como se muestra en la figura 2.3. El nodo sensor forma una unidad básica de la red de sensores. (Gupta & Sikka, 2015)

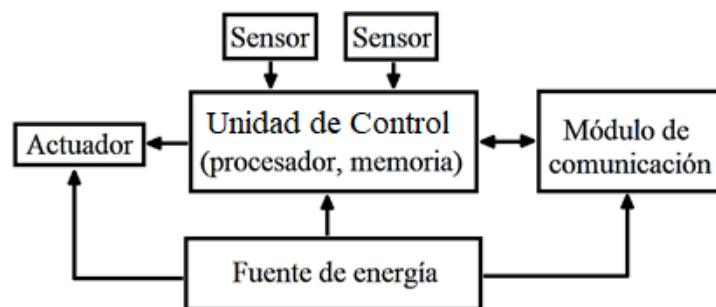


Figura 2. 3: Estructura de un Nodo Sensor
Fuente: Elaboración propia.

Un Sensor y Mote juntos forman un Nodo Sensor. Un Mote consiste en un controlador, batería, memoria, ADC para conectarse a un sensor y un transmisor de radio para formar una red ad hoc. Las redes de sensores inalámbricos pueden estar compuestas por varios miles de dispositivos micro llamados nodos. (Gupta & Sikka, 2015)

2.5.2. Sistema operativo

La arquitectura del sistema operativo para un nodo sensor debería poder proporcionar gestión de recursos y de memoria en un entorno restringido. (Gupta & Sikka, 2015) Los

diversos problemas de diseño de un sistema operativo (OS) para redes de sensores son:

- En la red de sensores, un nodo sensor es responsable del cálculo de los datos extraídos del entorno local; los procesa y los manipula según el requisito de una aplicación.
- Un sistema operativo para nodos sensores no debe ser dependiente del hardware, sino que debe ser específico de la aplicación y debe admitir el enrutamiento de múltiples saltos.
- El sistema operativo debe tener un paradigma de programación fácil. Los desarrolladores de aplicaciones deberían poder concentrarse en la lógica de la aplicación en lugar de estar preocupados por los problemas de hardware de nivel inferior, como la planificación anticipada y la creación de redes.
- El sistema operativo debe tener características integradas para minimizar el consumo de batería. Dado que las motas no se pueden recargar como se desea, se debe imponer una limitación en la cantidad de recursos utilizados por cada aplicación.
- El sistema operativo debe basarse en la prioridad dando prioridad a los eventos de mayor prioridad. (Gupta & Sikka, 2015)

2.5.3. Característica de comunicación de la red

El rendimiento de las redes de sensores inalámbricos está determinado por la calidad de la comunicación inalámbrica. Pero la comunicación inalámbrica es bien conocida por su naturaleza impredecible. (Gupta & Sikka, 2015) Entre los principales problemas de diseño para comunicación inalámbrica en WSN, se tiene:

- Requerir de un bajo consumo de energía para permitir una vida útil más larga, al facilitar el procesamiento local de la señal y la operación de ciclo de trabajo bajo.
- La detección distribuida actúa eficazmente contra diversas barreras ambientales y se debe tener cuidado para que la intensidad de la señal y el alcance de la radio no se reduzcan por diversos factores como las dispersiones y la reflexión-dispersión.
- La red de múltiples saltos puede acomodarse en los nodos del sensor para reducir el alcance del enlace de comunicación y la densidad de los nodos del sensor debe mantenerse alta.
- Se debe considerar la transmisión de corto alcance, ya que la comunicación de largo alcance generalmente es punto a punto y requiere alta potencia de transmisión, con la posibilidad de infiltraciones ilegales.
- Los sistemas de comunicación deben incluir control de flujo y mecanismo de control

de errores para detectar y corregir errores. (Gupta & Sikka, 2015)

2.5.4. Esquemas de medios de acceso a la red

La comunicación es una fuente principal de consumo de energía en WSN y los protocolos MAC controlan directamente la radio de los nodos sensores en la red. Por lo tanto, los protocolos MAC deben diseñarse para controlar y regular el consumo de energía, lo que a su vez influye en la vida útil de la red. (Gupta & Sikka, 2015)

2.5.5. Despliegue de la red

El despliegue significa posicionar una red de sensores operacional en un entorno del mundo real. Los nodos sensores se pueden implementar ya sea colocando uno tras otro en un campo de sensores o por dejándolo caer desde un avión. El despliegue de la red de sensores es una actividad laboriosa y engorrosa ya que no hay influencia sobre la calidad de la comunicación inalámbrica y también el mundo real impone tensiones en los nodos de sensores al interferir durante las comunicaciones. (Gupta & Sikka, 2015)

2.5.6. Localización de la red

El problema de determinar la ubicación física de los nodos se llama localización. Además, no hay una infraestructura de soporte disponible para ubicarlos y administrarlos una vez que se desplegado. La localización de sensores es un problema primordial y esencial para la administración y operación de la red. (Gupta & Sikka, 2015) En muchos escenarios del mundo real, los sensores se implementan de manera ad hoc para que no tengan conocimiento acerca de su posición.

2.5.7. Sincronización de la red

El tiempo de sincronización proporciona una escala de tiempo común para relojes locales de los nodos en la red de sensores. Un reloj global en un sistema de sensores ayudará a analizar los datos correctamente y predecir el comportamiento futuro del sistema (Gupta & Sikka, 2015)

2.5.8. Calibración

La calibración es el proceso que consiste en realizar la comparación de la respuesta del sensor con valores de respuesta estándar conocida que tienen otros sensores; de esta manera

se establece la relación entre la variable medida por el sensor y su señal de salida. La calibración manual de sensores es una tarea lenta y tediosa debido a fallas de nodos sensores y ruidos aleatorios, cosa que lo hace también costoso. (Gupta & Sikka, 2015)

2.5.9. Problemas de las capas de la red

En los últimos años se han diseñado redes de sensores para aplicaciones específicas y de enrutamiento, que se muestran como un gran desafío. Este trabajo es importante para enviar los datos desde los nodos sensores a la estación base (BS). (Gupta & Sikka, 2015)

Varios Protocolos de enrutamiento para WSN son Rumor Routing, Difusión directa, protocolos de sensores para información a través de negociación, Jerarquía de agrupamientos adaptables de baja energía, enrutamiento con reconocimiento geográfico y energético, Protocolo de red de sensores de eficiencia energética sensible al umbral , Ruteo de Asignación Secuencial y otros. (Gupta & Sikka, 2015)

2.5.10. Problemas en la capa de transporte

Las capas de transporte proveen realización de comunicación de extremo a extremo. (Gupta & Sikka, 2015). Hay algunos problemas para los protocolos de capa de transporte, se mencionan unos cuantos:

- La capa de transporte se encarga de fragmentar el mensaje en varios paquetes en el transmisor y volver a ensamblarlo en el receptor.
- Un protocolo de capa de transporte debe ser confiable para entregar datos a un gran grupo de sensores en condiciones extremas.
- La comunicación de extremo a extremo puede sufrir debido a varias razones: la ubicación de los nodos no está predeterminada y los obstáculos externos pueden llevar a una comunicación deficiente entre dos nodos. Otro problema es la falla de los nodos debido al agotamiento de la batería.
- En las redes de sensores, la pérdida de datos es tolerable cuando fluye desde la fuente hasta el sumidero.
- Los protocolos de transporte tradicionales, como UDP y TCP, no pueden implementarse directamente en redes de sensores, ya que el control de flujo y el mecanismo de control de congestión no se pueden aplicar a los nodos que están lejos del nodo receptor. (Gupta & Sikka, 2015)

2.5.11. Agregar y difundir datos

El agregar datos se puede definir como el proceso de combinar los datos de múltiples sensores con el objeto de eliminar la transmisión redundante y estimar la respuesta deseada sobre el entorno detectado. La difusión de datos es un proceso mediante el cual los datos y las consultas se enrutan en la red de sensores. (Gupta & Sikka, 2015)

La difusión de datos es un proceso de dos pasos. En el primer paso, si un nodo está interesado en algunos datos, como la temperatura o la humedad, transmite sus intereses a sus vecinos periódicamente y luego a través de toda la red de sensores. En el segundo paso, los nodos que tienen los datos solicitados devolverán los datos al nodo de origen después de recibir la solicitud. La principal diferencia entre la agregación y la difusión de datos está en que los datos de agregación pueden transmitirse periódicamente, mientras que los datos de difusión siempre se transmiten a pedido. (Gupta & Sikka, 2015).

2.6. Estructura de una red inalámbrica de sensores

Una red inalámbrica de sensores (WSN), es una red compuesta de nodos inalámbricos con sensores, que consiste en dispositivos distribuidos que usan nodos con sensores para monitorear las condiciones físicas de un entorno y tiene la capacidad de recolectar como de enrutar datos mediante una arquitectura ad-hoc. (Pérez, Urdaneta, & Custodio, 2014)

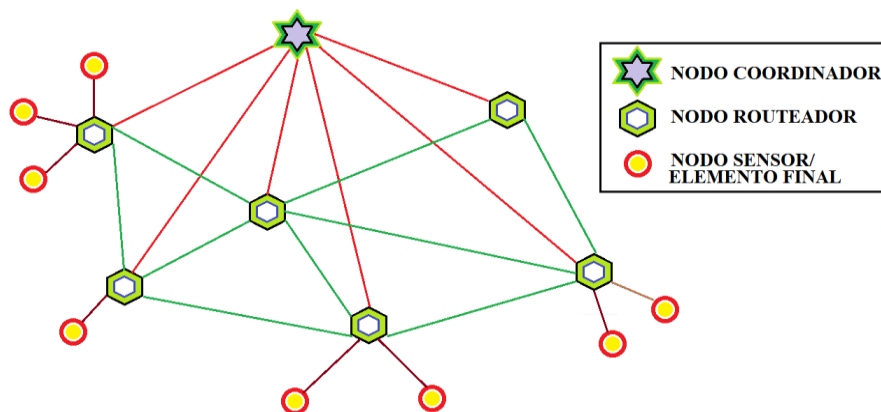


Figura 2. 4: Estructura básica de una WSN.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 2.4 muestra una estructura de red de sensores típica, en la cual, los nodos de sensores están recolectando la información del campo, así como transmitiendo los datos detectados a la estación base. Muchos sistemas de sensores se implementan en entornos

físicos hostiles, en una red de sensores inalámbricos, los nodos individuales son capaces de detectar sus entornos, procesar la información localmente o enviarla a uno o más puntos de recolección a través de un enlace inalámbrico. (Lu, 2009)

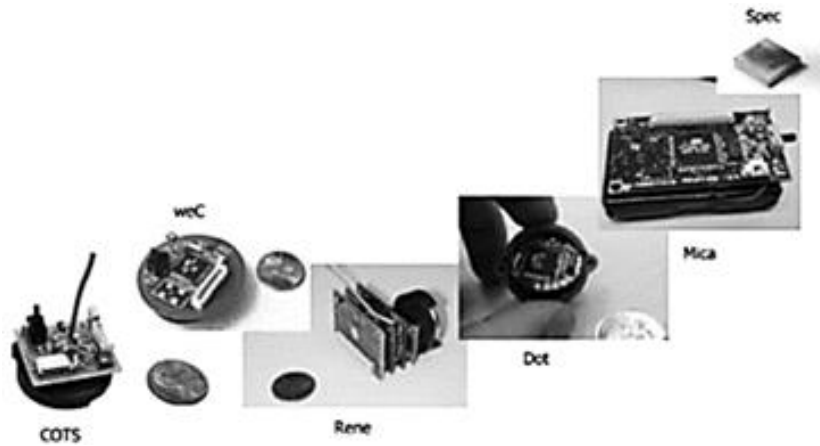


Figura 2. 5: Algunos Nodos Sensores Comerciales.
Fuente: (Lu, 2009)

La figura 2.5 muestra ejemplos de algunos de los sensores comerciales. Cada nodo tiene una transmisión de corto alcance debido a la baja potencia de transmisión de RF. La transmisión de corto alcance minimiza la posibilidad de que las señales transmitidas sean escuchadas a escondidas; además, ayuda a prolongar la vida útil de la batería.

2.6.1. Tipo de Topologías de redes

En la publicación “Network Structure or Topology” de Pandya (Pandya, 2013), define que la Topología de red es el estudio de la disposición o aplicación de los elementos (enlaces, nodos, etc.) de una interconexión de red entre los nodos.

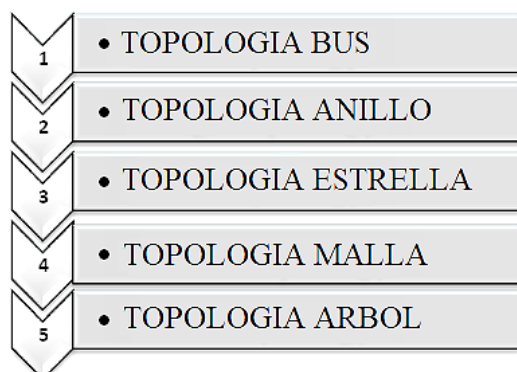


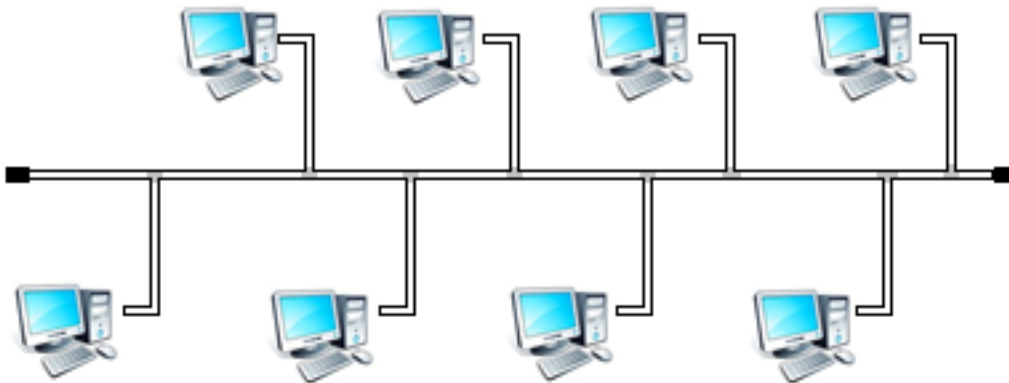
Figura 2. 6: Topologías de redes.
Fuente: Elaboración propia.

Las topologías pueden ser físicas o lógicas, figura 2.6. Topología física significa el

diseño físico de una red, incluidos los dispositivos, la ubicación y la instalación de los cables. La topología lógica se refiere al hecho de que la forma en que los datos se transfieren en una red en lugar de su diseño. Algunas de las topologías de red más comunes son:

2.6.2. Topología Red BUS

Esta estructura es muy popular para las redes de área local. En esta estructura o topología, un solo cable de red se ejecuta en el edificio o campus y todos los nodos están conectados junto con esta línea de comunicación con dos puntos finales llamados bus o red troncal como muestra la figura 2.7. Cada extremo del cable se termina con una carga terminadora especial. (Pandya, 2013)



*Figura 2. 7: Topología BUS.
Fuente: Elaboración propia.*

En este tipo de topología, si un nodo falla, todos los nodos pueden verse afectados ya que todos los nodos comparten el mismo cable para el envío y la recepción de información. El costo de cableado de los sistemas de bus es la menor de todas las topologías diferentes. (Vásconez, 2019)

Las ventajas de la topología BUS:

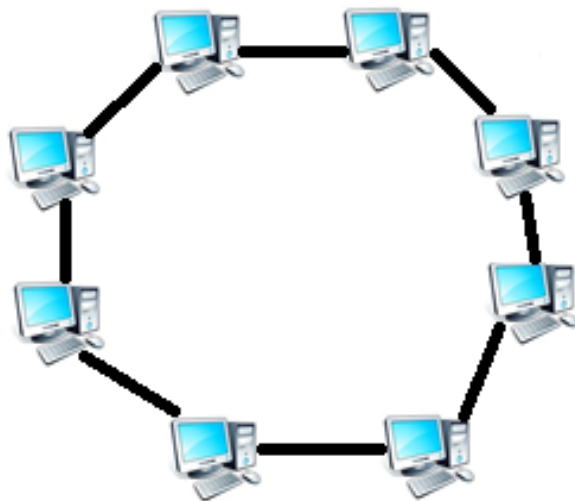
- Confiable en redes muy pequeñas, así como fácil de usar y entender.
- Requiere la menor cantidad de cable para conectar las computadoras (nodos) y, por lo tanto, es menos costoso que otros arreglos de cableado.
- Es fácil de extender. Dos cables se pueden unir fácilmente con un conector, lo que hace que el cable sea más largo para que más computadoras se unan a la red.
- También se puede usar un repetidor para extender una configuración de bus. (Pandya, 2013)

Las desventajas de la topología BUS:

- El tráfico pesado de la red puede ralentizar considerablemente un bus porque cualquier computadora puede transmitir en cualquier momento. Las redes no se coordinan cuando se envía información. Las computadoras que se interrumpen entre sí pueden usar una gran cantidad de ancho de banda.
- Cada conexión entre dos cables debilita la señal eléctrica.
- La configuración del bus puede ser difícil de encontrar y puede hacer que todas las redes dejen de funcionar. (Pandya, 2013)

2.6.2.1. Topología Red Anillo

Esta es otra estructura para redes de área local. En esta topología, el cable de red pasa de un nodo a otro hasta que todos los nodos se conectan en forma de bucle o anillo. Hay un enlace directo de punto a punto entre dos nodos vecinos (con el anterior y el posterior). Estos enlaces son unidireccionales, lo que garantiza que la transmisión de un nodo atraviese todo el anillo y regrese al nodo, lo que hace la transmisión como se muestra en la figura 2.8. (Pandya, 2013)



*Figura 2. 8: Topología en Anillo.
Fuente: Elaboración propia.*

La información viaja alrededor del anillo de un nodo a otro, cada paquete de datos enviado a la pista está precedido por la dirección de la estación a la que se envía. Cuando llega un paquete de datos, el nodo verifica si la dirección del paquete es la misma que la suya, si lo es, toma los datos del paquete. Si no le pertenece, envía el paquete al siguiente nodo en el anillo. (Pandya, 2013)

Los nodos defectuosos se pueden aislar del anillo. Cuando la estación de trabajo está encendida, se conecta al anillo. Cuando la alimentación está apagada, se desconecta del anillo y permite que la información pase por alto el nodo. Una ruptura en el anillo hace que toda la red falle. Según el autor Pandya (2013), esta topología presenta ventajas y desventajas como se detallan a continuación:

Ventajas de la topología en anillo:

- Ofrecen un alto rendimiento para un pequeño número de estaciones de trabajo o para redes más grandes donde cada estación tiene una carga de trabajo similar.
- Pueden abarcar distancias más largas que otros tipos de redes.
- Son fácilmente extensibles.
- A diferencia de la topología de bus, no hay pérdida de señal en la topología de anillo porque los token son paquetes de datos que se generan de nuevo en cada nodo. (Pandya, 2013)

Desventajas de la topología en anillo:

- Relativamente caro y difícil de instalar
- La falla de una computadora en la red puede afectar a toda la red.
- Es difícil encontrar fallos en una red en anillo.
- Agregar o quitar computadoras puede interrumpir la red.
- Es mucho más lento que una red Ethernet bajo carga normal. (Pandya, 2013)

2.6.2.2. Topología Red Estrella

La topología en estrella utiliza un concentrador central a través del cual se conectan todos los componentes de la red. En una topología en estrella, el concentrador central es la computadora host, y al final de cada conexión hay un terminal como se muestra en la figura 2.9. Los nodos se comunican a través de la red pasando datos a través del computador central. (Pandya, 2013)

Esta red utiliza una significativa cantidad de cable, ya que cada terminal se conecta al concentrador central, inclusive si dos terminales están uno junto al otro, pero a varios metros del host. El concentrador central toma todas las decisiones de enrutamiento y todas las demás

estaciones de trabajo pueden ser simples. Esta topología se usa a veces para conectar terminales a una gran computadora host de tiempo compartido.



*Figura 2. 9: Topología en Estrella.
Fuente: Elaboración propia.*

Ventajas de la topología en Estrella

- Es más confiable (si una conexión falla, no afecta a otras)
- El centro de una red en estrella es un buen lugar para diagnosticar fallas en la red y, si una computadora falla, la red completa no se ve afectada. El concentrador detecta la falla y aísla la computadora defectuosa.
- Es fácil de reemplazar, instalar o eliminar hosts u otros dispositivos, se puede detectar problemas fácilmente. Es más fácil de modificar o agregar una nueva computadora sin molestar al resto de la red, simplemente lanzando una nueva línea desde la computadora hasta la Ubicación central y enchufarlo al hub.
- Uso de múltiples tipos de cables en una misma red con un hub.
- Tiene buen rendimiento. (Pandya, 2013)

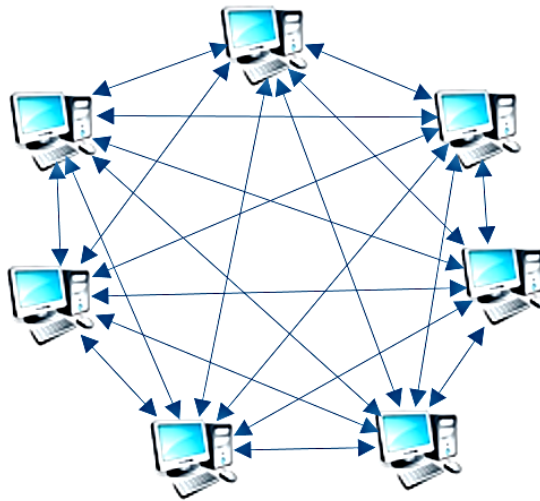
Desventajas de la topología en Estrella

- Es costoso de instalar, ya que requiere más cable, porque todos los cables de red deben colocarse en un punto central.
- Dependencia del nodo central: si falla el concentrador central, la red no funciona.
- Muchas redes en estrella requieren un dispositivo en el punto central para retransmitir o cambiar el tráfico de red. (Pandya, 2013)

2.6.2.3. Topología Red Malla

Los dispositivos están conectados con muchas interconexiones redundantes entre nodos de red. Cada nodo está comunicado con los otros nodos de la red. Los requisitos de cable son altos, hay rutas redundantes integradas. La falla en una de las computadoras no hace que la red se rompa, ya que tienen rutas alternativas a otras computadoras, figura 2.10. (Pandya, 2013)

Las topologías de malla se utilizan en la conexión crítica de las computadoras anfitrionas. Las rutas alternativas permiten que cada computadora equilibre la carga con otros sistemas informáticos en la red utilizando más de una de las rutas de conexión disponibles.



*Figura 2. 10: Topología en Malla.
Fuente: Elaboración propia.*

Por lo tanto, una red de malla totalmente conectada no tiene $(n-1) / 2$ canales físicos para vincular n dispositivos. Para acomodarlos, cada dispositivo en la red debe tener $(n-1)$ puertos de entrada / salida. (Pandya, 2013)

Ventajas de la topología en Malla:

- Produce la mayor cantidad de redundancia en caso de que uno de los nodos falle cuando el tráfico de red pueda ser redirigido a otro nodo.
- El enlace punto a punto facilita el aislamiento de fallas.
- La privacidad entre las computadoras se mantiene a medida que los mensajes viajan por un camino dedicado.

- Los problemas de red son más fáciles de diagnosticar. (Pandya, 2013)

Desventajas de la topología en Malla:

- La cantidad de cableado requerida es alta.
- Se requiere un gran número de puertos de E/S (entrada/salida). (Pandya, 2013)

2.6.2.4. Topología Red Árbol

La estructura o topología más común es la conocida como topología de árbol, es una topología de LAN en la que solo existe una ruta entre dos nodos cualquiera en la red. El patrón de conexión se asemeja a un árbol en el que todas las ramas brotan de una raíz, figura 2.11.

Es una topología híbrida, similar a la topología en estrella, pero los nodos están conectados al concentrador secundario, que a su vez está conectado al concentrador central. En este grupo de topologías configuradas en estrella, las redes están conectadas a la backbone. (Pandya, 2013)



*Figura 2. 11: Topología en Árbol.
Fuente: Elaboración propia.*

Ventajas de la topología en Árbol:

- La instalación y configuración de la red son fáciles.
- La adición del concentrador secundario permite que se conecten más dispositivos al concentrador central.
- Menos costoso en comparación con la topología de malla.
- Las fallas en la red se pueden detectar trazas. (Pandya, 2013)

Desventajas de la topología en Árbol:

- El fallo en el concentrador central detiene toda la red.
- Se requiere más cableado en comparación con la topología del bus porque cada nodo está conectado al concentrador central. (Pandya, 2013)

2.6.3. Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas utilizan radiofrecuencia (RF) para interconectar dispositivos, sin tener que usar cables de ningún tipo. Este tipo de redes inalámbricas, como la mostrada en la figura 2.12, tienen muchas aplicaciones y muchos propósitos. En algunos casos se utilizan para reemplazar redes cableadas, en otras situaciones se las aplica para proporcionar acceso de datos a empresas desde lugares remotos.



*Figura 2. 12: Comunicación inalámbrica.
Fuente: (BEDER International University, 2017)*

2.6.3.1. Redes inalámbricas de sensores (WSN)

Una red de sensores (sensor networks) es una red de pequeños módulos, equipados con sensores, que realizan en una tarea común. Las redes de sensores están formadas por un grupo de sensores con definidas capacidades sensitivas y de comunicación inalámbrica que permiten formar redes ad-hoc, sin infraestructura física preestablecida ni administración central. (Fernández & Ordieres, 2009)

La expresión ad-hoc hace referencia a una red en la que no hay un nodo central, sino más bien todos los dispositivos están en igualdad de condiciones. Ad-hoc es el modo más sencillo para crear una red. Es un tipo de red formada por un grupo de nodos móviles que forman una red temporal sin la ayuda de ninguna infraestructura externa. (Fernández & Ordieres, 2009)

Para que esta práctica se lleve a cabo, es necesario que los nodos se ayuden mutuamente para conseguir un objetivo común: que cualquier paquete llegue a su destino, aunque el destinatario no sea accesible directamente desde el origen. El protocolo que se usa para el enrutamiento es responsable de descubrir los caminos entre los nodos para hacer realidad la comunicación. (Fernández & Ordieres, 2009)

2.6.3.2. Redes Ad-Hoc

Las redes Ad-Hoc, figura 2.13, son las más usadas en la implementación de redes inalámbricas de sensores. Son redes sin infraestructura, flexibles, en las que todas sus estaciones dan servicio de enrutamiento para lograr la enlace entre estaciones que no tienen conexión inalámbrica directa. Su principal característica es que todos los dispositivos que forman parte de ella, a más de funcionar como elementos finales, realizan funciones de retransmisión de paquetes de datos, asociado a los Router. (Fernández & Ordieres, 2009)

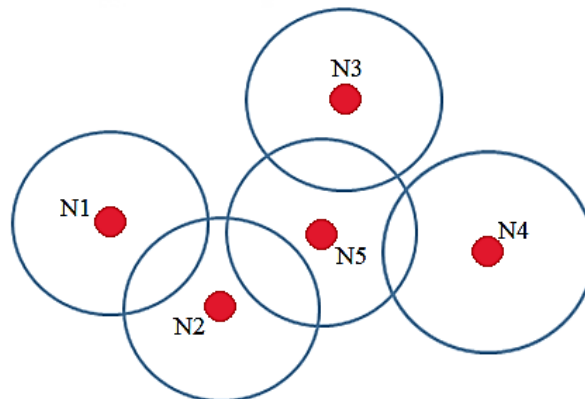


Figura 2. 13: Esquema de cobertura una red AD-HOC.
Fuente: Elaboración propia.

Las principales características de una red ad-hoc son:

- Tienen Movilidad
- Son Multisalto
- Conservación de la energía
- Flexibilidad
- Escalabilidad
- Seguridad

Estas características de la red Ad-Hoc, permiten encaminar paquetes a destinos sin cobertura directa a través de otros nodos intermedios que pertenecen en la red. De esta

manera, se brinda la posibilidad de levantar de manera extraordinaria la movilidad y el tamaño de una red de datos, inalámbrica. Lo esencial de estas redes es crear de una manera rápida y eficaz una red temporal en sitios hay ausencia de una infraestructura de red. (Fernández & Ordieres, 2009) Las mayores ventajas de las redes ad hoc se hallan en los bajos costos y su alta flexibilidad.

Los inconvenientes incluyen: menor eficiencia, bajo alcance de comunicación y restricción en la cantidad de dispositivos que se puedan incluir en una red. Las redes ad hoc hacen un papel importante en el crecimiento de redes de sensores, que permiten las comunicaciones entre máquinas para el control de edificios, automatización de fábricas, vigilancia, y comunicaciones de emergencia. (Muthu & Sonya, 2018)

2.7. Protocolos de una red WSN

Es de esperar que para que lo anterior sea posible, es necesario la inclusión en la red de protocolos de enrutamiento que permitan crear caminos hacia los destinos deseados. Los protocolos son un conjunto de normas y parámetros específicos, que establecen y proporcionar un comportamiento eficiente a la red. (Fernández & Ordieres, 2009)

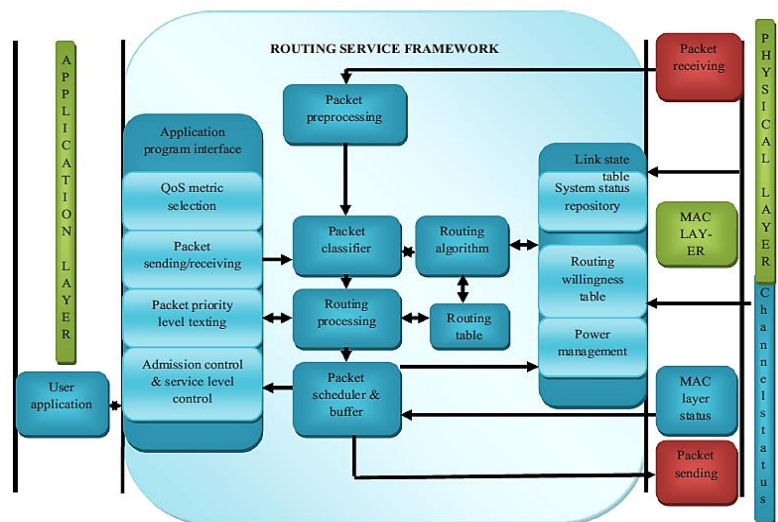


Figura 2. 14: Estructura de enrutamiento de redes inalámbricas.
Fuente: (Sarkar & Senthil, 2016)

La figura 2.14 muestra el protocolo de enrutamiento de las redes de sensores inalámbricos. El problema de enrutamiento hace que la red tenga una vida útil reducida con un mayor consumo de energía. Por lo tanto, se han desarrollado varios protocolos de enrutamiento para minimizar el consumo de energía y maximizar la vida útil de la red. Los

protocolos de enrutamiento se pueden categorizar según: la participación de los nodos, los protocolos de agrupamiento, el modo de funcionamiento y la estructura de la red. (Sarkar & Senthil, 2016)

2.8. Pila de protocolos en redes inalámbricas de sensores

Según Kochhar y Kaur, el diseño adecuado de la pila de protocolos es importante para la eficiencia general de un sistema de redes inalámbrica de sensores (WSN); estas redes difieren de las redes convencionales de comunicación por computadora en las siguientes formas:

- Al contrario de la topología física bien planificada de la red de computadoras, los nodos se implementan densa y aleatoriamente en WSN.
- Las redes de PC permanecen estáticas, mientras que las WSN son dinámicas. La falla de un nodo cambia la topología. Por lo que, los WSN deben ser auto-configurables.

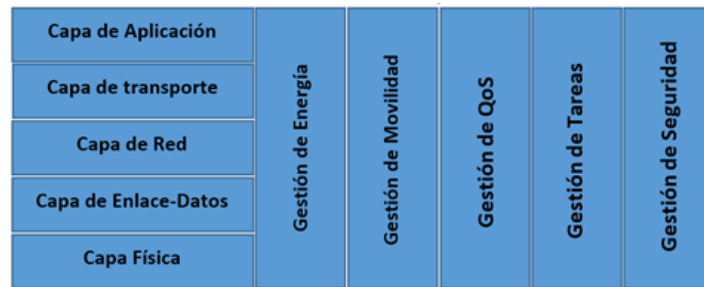


Figura 2. 15: Modelo de la pila de protocolo para WSN.

Fuente: Elaboración propia.

- Las redes de computadoras tienen direcciones IP para su identificación global. Los nodos WSN no tienen identificación global porque crea una gran sobrecarga.
- Las redes de computadoras tienen un suministro continuo de energía, mientras que las WSN tienen recursos limitados. Por lo tanto, la pila de protocolos WSN debe ser consciente de la energía. (Kochhar & Kaur, 2018)

Las pilas de protocolos en WSN comprenden cinco niveles horizontales y cinco verticales. Tienen cinco capas y cinco planos de gestión, como se muestra en la figura 2.15.

2.9. Sensores

Preferiblemente, se debe conocer una ley física o química que forme una base para la operación del sensor. Un sensor se define como “un dispositivo que recibe un estímulo físico

y responde con una señal eléctrica a dicho estímulo". Dicha ley se expresa en forma de fórmula matemática, se usa para calcular la función de transferencia inversa del sensor, invirtiendo la fórmula y calculando el valor de señal desconocida, de la salida eléctrica medida. (Fraden, 2015)

En los sensores, la información se transmite y procesa en forma eléctrica a través del transporte de electrones. Este lenguaje es de naturaleza eléctrica y el sensor debe ser capaz de responder con las señales de salida donde la información es transportada por el desplazamiento de electrones. Por lo tanto, se conecta un sensor a un sistema electrónico a través de cables eléctricos. (Fraden, 2015)

2.10. Tipos de sensores

Hay dos tipos de sensores, directo e híbrido. Un sensor directo convierte un estímulo en una señal eléctrica o modifica una señal eléctrica suministrada externamente, mientras que un sensor híbrido necesita, además uno o más transductores antes de que un sensor directo pueda ser empleado para generar una salida eléctrica. (Fraden, 2015)

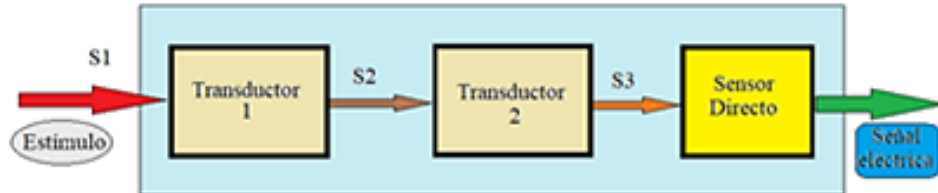


Figura 2. 16: Un sensor directo puede incorporar algunos transductores.
Fuente: Elaboración propia.

Un sensor no funciona por sí solo; es parte de un gran sistema que incorpora otros elementos como: detectores, acondicionadores de señal, convertidores, procesadores, dispositivos de memoria y actuadores. Su lugar en un dispositivo es intrínseco o extrínseco. Puede estar conectado a la entrada para percibir los efectos externos e informar al sistema sobre las variaciones de dichos estímulos, como se puede apreciar en la figura 2.16. (Fraden, 2015)

En la figura 2.17, se muestra sensores para un sistema de adquisición de datos. El sensor 1 está sin contacto, los sensores 2 y 3 son pasivos, el sensor 4 está activo y el sensor 5 es interno al sistema de adquisición de datos, este puede estar en la parte interna del dispositivo, que monitorea el estado del mismo dispositivo para realizar el rendimiento

adecuado. Este sistema puede ser parte de un sistema de control más grande con varios mecanismos. (Fraden, 2015)

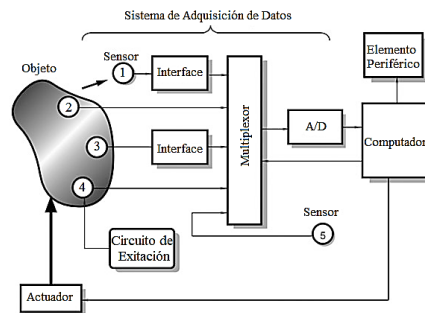


Figura 2. 17: Posiciones de sensores en el sistema de adquisición de datos.
Fuente: (Fraden, 2015)

Tabla 2. 1: Tipos de sensores por la variable medida y aplicación.
Fuente: Elaboración propia.

TIPO	APLICACIÓN
pH	Determina de forma directa el valor pH del suelo.
Humedad	Tienen circuitos integrados que les permiten emitir una señal acondicionada. Miden la humedad relativa.
Temperatura	Detecta los cambios de temperatura del medio o del entorno en que se encuentra ubicado el sensor.

Existen múltiples sensores con aplicaciones que varían en función del tipo de estímulo con el cual interactúan, como las aplicaciones que se muestran en la tabla 2.1.

2.11. Clasificación de los sensores

Los esquemas de clasificación de sensores varían de simples a complejos. Dependiendo del propósito de clasificación, para ello se pueden elegir con diferentes criterios.

Todos los sensores pueden ser de dos tipos: pasivos y activos.

- Un sensor pasivo genera una señal eléctrica en respuesta a un estímulo externo, no requiere fuente de energía adicional. Ejemplo: termopar (figura 2.18). Muchos sensores pasivos son sensores directos. (Fraden, 2015)
- Los sensores activos requieren señal de excitación externa para su funcionamiento. Esta es modulada por el sensor para producir la señal de salida. Los sensores activos denominan paramétricos porque sus propiedades cambian en respuesta al estímulo

externo y estas pueden convertirse en señales eléctricas. (Fraden, 2015)

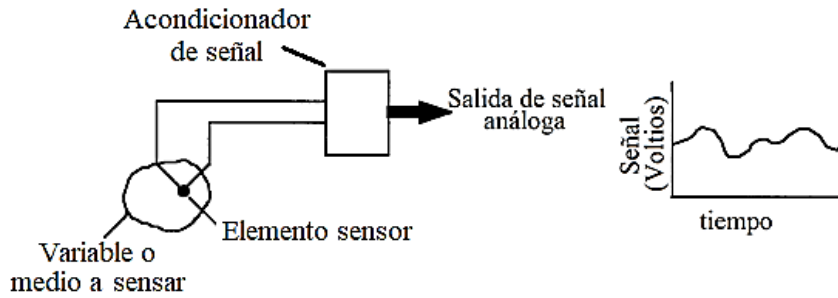


Figura 2. 18: Un termopar proporciona una señal analógica para un proceso.
Fuente: (Webster, 1999)

El parámetro de un sensor modula la señal de excitación y que dicha modulación transporta información del valor medido. Por ejemplo, un termistor como en la figura 2.19, es una resistencia sensible a la temperatura, al circular por él una corriente eléctrica, su resistencia se puede medir detectando variaciones en la corriente y/o voltaje a través del mismo. (Fraden, 2015)

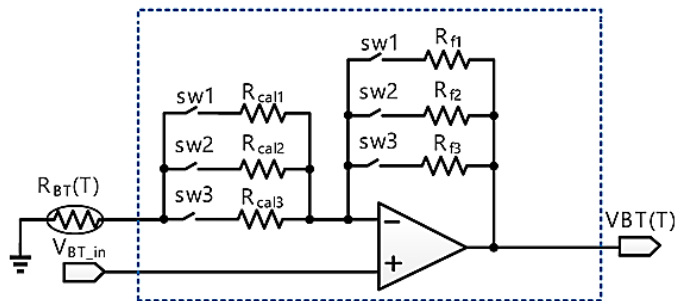


Figura 2. 19: Esquema de circuito de calibración de termistor mediante interruptores.
Fuente: (Wang, 2018)

Dependiendo de la referencia seleccionada, los sensores se pueden clasificar en absoluto y relativo.

- Un sensor absoluto detecta un estímulo en referencia a una escala física absoluta que es independiente de las condiciones de medición. Un ejemplo de un sensor absoluto es un termistor, una resistencia sensible a la temperatura. Su resistencia eléctrica se relaciona directamente con la escala de temperatura absoluta de Kelvin. (Fraden, 2015)
- Mientras que un sensor relativo produce una señal que se relaciona con algún caso especial, un sensor muy popular de temperatura es el termopar. Este un sensor relativo, produce un voltaje eléctrico que es función de un gradiente de temperatura a través de los cables del termopar. (Fraden, 2015)

2.11.1. Sensores analógicos

Los sensores analógicos integran amplificadores para una interfaz más fácil con los circuitos periféricos, operan en un amplio rango de voltaje y son estables para un entorno ruidoso. No son completamente lineales y, por lo tanto, para mediciones de precisión requieren una calibración. La no linealidad, mostrada en la figura 2.20, al final del tramo puede ser de hasta -1.5%. Además, la sensibilidad del sensor lineal depende de la temperatura. (Fraden, 2015)

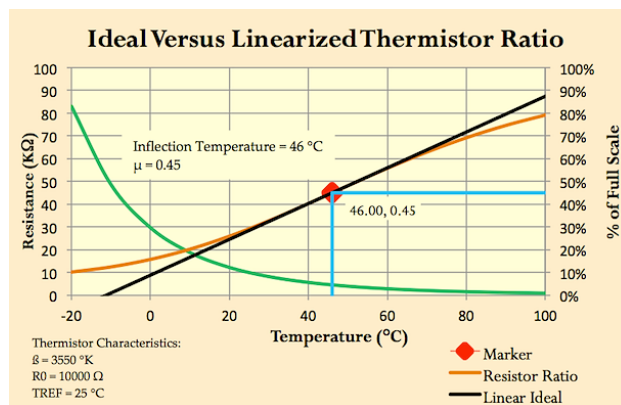


Figura 2. 20: Gráfico de la función de transferencia linealizada de termistor.
Fuente: (EDN Network, 2014)

2.11.2. Sensores inteligentes

Los dispositivos inteligentes con procesamiento de información local están en constante desarrollo, logrando la reducción de costos de componentes en varios campos de aplicación como automotriz, robótica, mecatrónica y fabricación. Los componentes de un sistema de sensor inteligente, figura 2.21, incluyen sensores, alimentación, comunicación y procesamiento de señales típicamente proporcionados por un microprocesador. (Springer Handbooks, 2009)

Los desarrollos permiten que el sistema de automatización basado en computadora evolucione de arquitecturas centralizadas a distribuidas. El primer nivel de distribución para reducir el costo de cableado consistió en intercambiar entradas y salidas a través de un bus de campo como soporte de comunicación. El segundo nivel integra el procesamiento de datos en una configuración modular lo más cerca posible de sensores y actuadores. (Springer Handbooks, 2009)

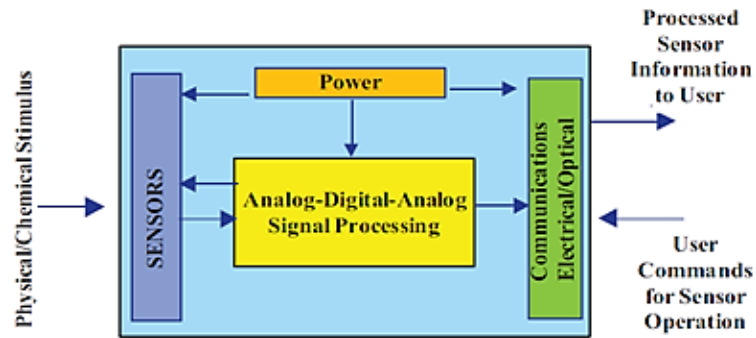


Figura 2. 21: Diagrama en bloque de un sistema de sensor inteligente.
Fuente: (Hunter & Stetter, 2012)

La descripción de los avances en la tecnología de microprocesadores está muy avanzada, tanto así que los sistemas de sensores funcionan de forma remota con muy poca energía. Hay muchos ejemplos de los avances tecnológicos en sensores, energía y comunicaciones que pueden habilitar futuros sistemas de sensores inteligentes. (Hunter & Stetter, 2012)

2.11.3. Características de los sensores

Los sensores poseen características propias inherentes a su forma y construcción detalladas en la tabla 2.2, estas características son estáticas y dinámicas. Las características estáticas se refieren a aquellas propiedades que no cambian con el tiempo, en tanto que las características dinámicas son las que describen el sensor en función del tiempo. Todas ellas describen el comportamiento de un sensor, en función de la señal de entrada.

Tabla 2. 2: Características Estáticas de los sensores.
Fuente: (Fraden, 2015)

Característica	Definición
Rango	Valores máximos y mínimos de la variable física que el sensor sensa o muestra en la salida del mismo.
Span	Es la diferencia entre los valores máximo y mínimo a medir en la entrada del sensor.
Exactitud	Se define como la diferencia entre el valor medido y el valor real. Se define en términos de % de escala completa o % de lectura.
Precisión	Se define como la cercanía entre un conjunto de valores medidos repetidamente. Es diferente de la exactitud.
Errores	Son la diferencias que hay entre los valores medidos y los valores reales.
Deriva o Error de Desviación	Variación de algún aspecto de la curva de calibración con respecto a algún parámetro ambiental o con respecto al tiempo.
Sensibilidad	Es la relación de cambio en la salida respecto a los cambios de entrada.
Linealidad	Es la desviación máxima entre los valores medidos de un sensor respecto de la curva ideal.

Histéresis	Es la diferencia en la salida cuando la entrada está variando de dos maneras: aumentando y disminuyendo.
Resolución	Es el cambio mínimo en la entrada que el sensor puede detectar.
Reproducibilidad	La capacidad del sensor para producir la misma salida cuando se aplica la misma entrada.
Repetitividad	La capacidad de producir la misma salida cada vez que se aplica la misma entrada, manteniendo iguales condiciones físicas y de medición, incluido el operador, el instrumento, las condiciones ambientales, etc.

2.12. Microcontroladores

Un microcontrolador (μC) contiene los componentes principales de la computadora: procesador, memorias de programa y datos, interfaces de entrada/salida. Por lo tanto, se puede llamar computadora de un solo chip. El μC está desarrollado para controlar objetos y procesos. Entonces, un chip μC contiene varios componentes adicionales como temporizadores, convertidores A/D y D/A, referencias de voltaje, generadores PWM, UART serie e interfaces USB. (Baškys, 2012)

La mejora constante de los parámetros de MC y su bajo precio permite penetrar los MC en los diversos campos de la actividad humana. Se pueden encontrar los microcontroladores en la mayoría de los dispositivos que controlan, miden, calculan o muestran información. Para interactuar con el entorno, deben usarse con el μC varios componentes adicionales como circuitos lógicos de coincidencia de nivel de voltaje, sensores, pantallas, conectores, interruptores, LED, etc. (Baškys, 2012)

2.12.1. Clasificación de los microcontroladores

Los μC se clasifican por arquitectura, conjunto de instrucciones, ideología de μC y fabricantes.

2.12.1.1. Clasificación de los μC por arquitectura

Hay dos arquitecturas para los μC . Von Newman y Harvard.

- El μC desarrollado utilizando la arquitectura Von Newman tiene una memoria común para el almacenamiento de datos y programas y, como consecuencia, el bus común para la transferencia de direcciones de instrucciones y datos. Esta arquitectura es diferente de la Harvard. (Baškys, 2012)
- La arquitectura de Harvard tiene unidades de memoria separadas para el

almacenamiento de datos y programas y buses separados para la transferencia de direcciones de instrucciones y datos. Esta arquitectura, nos permite alcanzar una mayor velocidad de transferencia de datos. (Baškys, 2012)

La mayoría de las familias de μC se crean utilizando la arquitectura de Harvard.

2.12.1.2. Clasificación de μC por conjunto de instrucciones

Los μC se dividen en dos grupos por conjunto de instrucciones. Hay μC que pertenecen al grupo de equipo de conjunto de instrucciones reducido (RISC) y μC que pertenecen al grupo de conjunto de instrucciones complejo (CISC). La mayoría de los μC se basan en la ideología RISC. La ideología CISC se usa principalmente en microprocesadores. (Baškys, 2012)

2.12.1.3. Clasificación de los μC por fabricante

Según el fabricante, los μC se distribuyen en familias. Las familias más populares de μC de 8 bits son:

a) Familia 8051 (INTEL)

Los μC de esta familia se desarrollan utilizando la arquitectura Harvard. Pertenecen a los μC RISC. La familia de los μC s 8051 están fabricados por empresas como: Intel, Atmel, Dallas Semiconductor, Philips, Siemens, ISSI (Integrated Silicon Solutions Inc.) Ver figura 2.22. (Baškys, 2012)



Figura 2. 22: Microcontrolador INTEL 8051.
Fuente: (Sánchez, 2011)

b) Familia 68HC05 (MOTOROLA)

Esta familia de μC es conocida bajo los títulos HC05, HC08 y HC11. El fabricante de estos μC s es Motorola. Se desarrollan utilizando la arquitectura Von Newman. Los μC de esta familia pertenecen al tipo CISC, como en la figura 2.23. (Baškys, 2012)

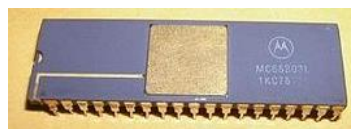


Figura 2. 23: Microcontrolador Motorola 68HC05.
Fuente: (Lim, 2011)

c) Familia AVR (ATMEL)

Los μ C de esta familia se desarrollan utilizando la arquitectura Harvard. Pertenecen al tipo RISC. La principal ventaja de los μ C AVR es la alta velocidad. Estos μ C pueden ejecutar una instrucción durante un ciclo de reloj. El fabricante de los μ Cs AVR es Atmel. Figura 2.24. (Baškys, 2012)



Figura 2. 24: Microcontrolador AVR de Atmel.
Fuente: (MICROCHIP, 2019)

d) Familia PIC (MICROCHIP)

Los μ C de esta familia, Figura 2.25, pertenecen a la arquitectura de Harvard. Son de tipo RISC. El fabricante de los μ Cs PIC es Microchip. Esta firma, que oficialmente se llamaba Arizona Microchip Technology, se fundada en el año 1988. Los μ C PIC de 8 bits son los más populares y tienen el mayor mercado entre los μ C de 8 bits. (Baškys, 2012)



Figura 2. 25: Microcontroladores familia PIC .
Fuente: Elaboración propia.

2.13. Módulos de comunicación ZigBee

ZigBee es una tecnología que fundamenta su funcionamiento en el estándar 802.15.4, el mismo que define la capa física y la de control de acceso al medio para enlazar redes inalámbricas de área personal con una baja tasa de transferencia de datos, por lo que esta tecnología se puede aplicar en lugares en donde se requiere determinados niveles de control y automatización.

2.13.1. Aplicaciones típicas

Hay un gran número de aplicaciones para las capacidades de redundancia o respaldo para un sistema, auto configuración y auto regeneración que presentan las redes en malla de ZigBee. Entre estas se encuentran:

- Gestión y eficiencia energética, para proporcionar mayor información y control de

uso de energía y recursos.

- Automatización de casas y edificios, proporciona e integra una gestión flexible de iluminación, calefacción y refrigeración, seguridad, etc.
- Automatización industrial, en el aumento de la confiabilidad de los sistemas de control de procesos y fabricación existentes.
- Automatización de riego agrícola, en el monitoreo de parámetros del entorno y el aumento de la eficiencia en el uso del recurso hídrico.
- Adicionalmente, se pueden encontrar aplicaciones en periféricos para computación y electrónica de consumo. (González, 2018)

2.13.2. El estándar ZigBee

A continuación, se describen brevemente los elementos del Stack o pila, donde se utiliza el lenguaje de la figura 2.26 para cada capa o elemento.

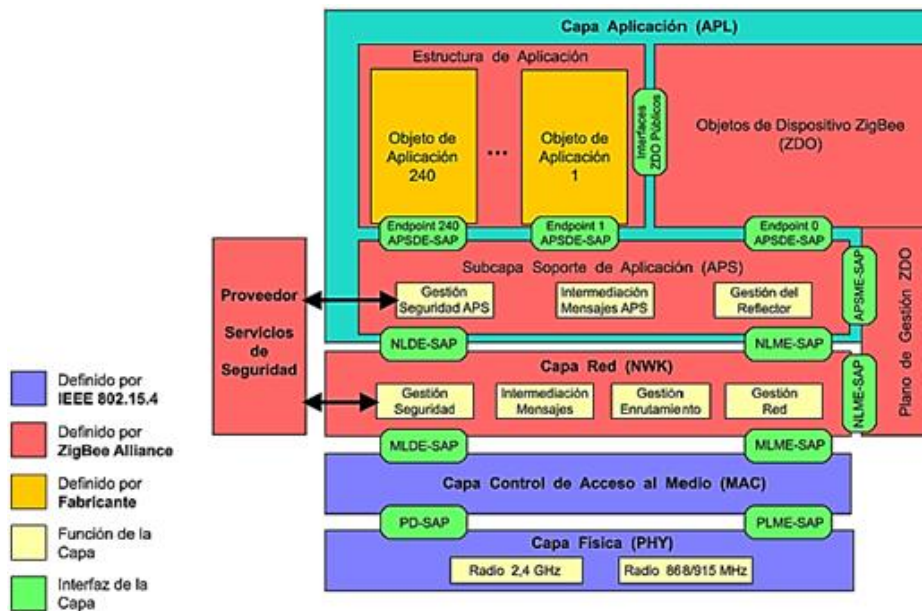


Figura 2. 26: Arquitectura de la pila ZigBee.
Fuente: (González, 2018)

2.13.2.1. Capa de aplicación (APL)

La capa superior en la pila del protocolo ZigBee, está orientada bajo el enfoque de programación orientado a objetos; y, consiste en la: estructura de aplicación, el objeto de dispositivo ZigBee (ZDO) y la subcapa de soporte de aplicación (APS). (González, 2018)

- **Estructura de aplicación:** Proporciona una descripción de cómo crear un perfil en la pila de ZigBee (asegura que los perfiles se generen de manera sólida). También

establece un conjunto de tipos de datos estandarizados para perfiles, formatos de frames para transportar datos y una construcción de par de valores clave para el desarrollar rápido de perfiles simples basados en propiedades. (González, 2018)

- **Objetos de aplicación:** Un Software en un EndPoint que controle el dispositivo ZigBee. Un nodo solo de ZigBee acepta hasta 240 objetos de aplicación. Cada uno de ellos toma un identificador llamado EndPoints numerados entre 1 y 240 (con el punto final 0 reservado para el objeto de dispositivo ZigBee (ZDO)).
- **Objeto de dispositivo ZigBee (ZDO):** Define el papel que desempeña un dispositivo dentro de la red (coordinador, enrutador o dispositivo final), inicia y/o responde a solicitudes de enlace y descubrimiento, y establece una relación segura entre dispositivos de red. El ZDO siempre es punto cero. (González, 2018)
- **Subcapa de soporte de aplicaciones (APS):** Es la responsable de proporcionar un servicio de datos para la aplicación y los perfiles del dispositivo ZigBee. Además, proporciona un servicio de gestión para sostener los enlaces y el almacenamiento de la tabla de enlace. (González, 2018)

2.13.2.2. Plano de gestión ZDO

Facilita la comunicación entre las capas APS y NWK con el ZDO. Permite que el ZDO se encargue de las solicitudes de acceso a la red y seguridad por medio de mensajes.

2.13.2.3. Proveedor de servicios de seguridad (SSP)

Proporciona mecanismos de seguridad para las capas que usan cifrado (NWK y APS). Inicializado y configurado a través de ZDO.

2.13.2.4. Capa de red (NWK)

Maneja la dirección de la red y el enrutamiento al solicitar acciones en la capa MAC. Sus tareas incluyen iniciar la red (coordinador), asignar direcciones de red, agregar y eliminar dispositivos de red, enrutar mensajes, aplicar seguridad e implementar el descubrimiento de rutas. (González, 2018)

2.13.2.5. IEEE 802.15.4

En el año 2000, dos grupos especialistas en estándares (ZigBee y el grupo 15 de trabajo IEEE 802) se unieron para dar a conocer la necesidad de un nuevo estándar para redes

inalámbricas de bajo poder y bajos costos para ambientes industriales y domésticos. Como resultado, en diciembre de ese año, el comité para nuevos estándares IEEE, designó oficialmente un nuevo grupo de trabajo para el desarrollo de un nuevo estándar de baja transmisión en redes inalámbricas para áreas personales (LR-WPAN).

Había nacido el estándar que ahora se conoce como el 802.15.4. Las características más importantes en este estándar son su flexibilidad de red, bajos costos, bajo consumo de energía; este estándar se puede utilizar para muchas aplicaciones en el hogar y la industria, que requieren una tasa baja en la transmisión de datos. Algunas características de alto nivel del 802.15.4 se resumen en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3: Aspectos más relevantes del estándar 802.15.4.
Fuente: Elaboración propia.

PROPIEDAD	RANGO
Rango de transmisión de datos	868 MHz: 20kb/s; 915 MHz: 40kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s.
Alcance	10 – 20 m.
Latencia	Abajo de los 15 ms.
Canales	868/915 MHz: 11 canales / 2.4 GHz: 16 canales.
Bandas de frecuencia	Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz.
Direccionamiento	Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE
Canal de acceso	CSMA-CA
Temperatura	El rango de temperatura industrial: -40° a +85° C

Esta norma se puede emplear en muchas aplicaciones y en lugares en donde se requieren tasas bajas de transmisión de datos. El estándar posee una capa de control de acceso medio y una capa física. Las características más importantes en este estándar son su flexibilidad de red, bajos costos, bajo consumo de energía; este estándar se puede utilizar para muchas aplicaciones en el hogar que requieren una tasa baja en la transmisión de datos.

A continuación, se define la función de cada una de ellas.

- **Capa de control de acceso medio (MAC):** Esta capa es responsable de proporcionar comunicaciones confiables entre un nodo y sus vecinos inmediatos, lo que ayuda a evitar colisiones y mejorar la eficiencia. La capa MAC también es responsable de ensamblar y descomponer paquetes de datos y frames. (González, 2018)
- **Capa física (PHY):** Proporciona la interfaz para el medio de transmisión física (por ejemplo, radio). La capa PHY consta de dos capas que operan en dos rangos de frecuencia separados.

- La capa PHY de frecuencia más baja cubre tanto la banda europea de 868 MHz como la banda de 915 MHz usada en países como USA y Australia.
- La capa PHY de frecuencia más alta que es 2.4GHz, se usa virtualmente en todo el mundo. (González, 2018)

2.14. Tipos de dispositivos

ZigBee está estructurado de manera tal para darle a los fabricantes de dispositivos una elección respecto a las funcionalidades que deberá cumplir dentro de la red. Dentro de los elementos en una red ZigBee se puede diferenciar dos grandes categorías:

2.14.1. Dispositivos de función completa (FFD)

Esta clase de elementos pueden actuar como un Router dentro de la red y si es que el fabricante lo desea, este puede además comportarse como un Coordinador de la red de área personal (PAN).

2.14.2. Dispositivos de función reducida

Estos dispositivos no poseen la capacidad de ruteo, pero si son capaces de conectarse a la red ZigBee como nodos finales comunicándose con su Router padre. La ventaja de estos nodos es que pueden permanecer gran parte de su tiempo en estado de bajo consumo energético. En una categorización más específica se puede diferenciar entre dispositivos coordinadores, enrutadores y dispositivos finales, siendo estos últimos de función reducida mientras que los dos primeros de función completa. (González, 2018)

Además, se puede agregar los dispositivos ZTC (ZigBee Trust Center) encargados de autenticación y seguridad dentro de la red y dispositivos ZigBee Gateway, los cuales cumplen la función de interface entre la red ZigBee y otro tipo de red como LAN o Internet, siendo esenciales para una aplicación del tipo IoT. (González, 2018)

2.15. Módulo XBee PRO S2

Los módulos RF XBee / XBee-PRO ZB, ver figura 2.27, están diseñados para operar dentro del protocolo ZigBee y soportar las necesidades únicas de las redes de sensores inalámbricos de bajo costo y bajo consumo. Los módulos requieren una potencia mínima y proporcionan una entrega confiable de datos entre dispositivos remotos. Funcionan dentro

de la banda de frecuencia industrial, científica y médica (internacional ISM) de 2,4 GHz y son compatibles con los siguientes:

- XBee RS-232 Adapter
- XBee RS-485 Adapter
- XBee Analog I/O Adapter
- XBee Digital I/O Adapter
- XBee Sensor
- XBee USB Adapter
- XStick
- XBee Wall Router



Figura 2. 27: Módulo XBee PRO S2.
Fuente: Elaboración propia.

2.16. Diferencia entre XBee y ZigBee

Aunque los nombres son similares, hay que distinguir entre XBee y ZigBee. XBee es el nombre que DIGI le dio al módulo de radio físico y se refiere al factor de forma. DIGI ofrece varios módulos XBee diferentes en este factor de forma común que utilizan protocolos de comunicación separados. (DIGI, 2018)

El XBee viene en dos opciones de hardware: orificio pasante (TH) y montaje en superficie (SMT), para montaje en PCB de clientes. La opción TH tiene un encabezado de 20 pines. El pequeño tamaño de los módulos permite que XBee se integre en diseños densos y con limitaciones de espacio. (DIGI, 2018)

ZigBee es un protocolo de RF que pertenece a la ZigBee Alliance. La especificación ZigBee es un producto de ZigBee Alliance que es una asociación de empresas que trabajan juntas para garantizar el éxito de este estándar global abierto. ZigBee está construido sobre el estándar IEEE 802.15.4. ZigBee proporciona funciones de enrutamiento y salto múltiple al protocolo de radio basado en paquetes. (DIGI, 2018)

2.17. Especificaciones del módulo de RF XBee/XBee-PRO ZB RF

El alcance real, tabla de comparación 2.4, variará según la potencia de transmisión, la orientación del transmisor y el receptor, la altura de la antena transmisora, la altura de la antena receptora, las condiciones climáticas, las fuentes de interferencia en el área y el

terreno entre el receptor y el transmisor, incluidas las estructuras interiores y exteriores, como paredes, edificios, árboles, colinas y montañas.

Tabla 2. 4: Especificaciones Técnicas de los módulos XBee/XBee-PRO ZB
Fuente: Elaboración propia.

Especificación	XBee	XBee-PRO (S2)	XBee-PRO (S2B)
Rendimiento			
Rango Interior/urbano	Arriba de 133 ft. (40 m)	Arriba 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) variante internacional	Arriba 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) variante internacional
Rango de línea de vista exterior	Arriba de 400 ft. (120 m)	Arriba 2 millas. (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) variante internacional	Arriba 2 millas. (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) variante internacional
Velocidad de datos	250,000 b/s	250,000 b/s	250,000 b/s
Rendimiento de datos	Arriba de 35000 b/s (ver Transmisión, Dirección y Ruteo)	Arriba de 35000 b/s (ver Transmisión, Dirección y Ruteo)	Arriba de 35000 b/s (ver Transmisión, Dirección y Ruteo)
Velocidad datos interface serial	1200 b/s - 1 Mb/s	1200 b/s - 1 Mb/s	1200 b/s - 1 Mb/s
Sensitividad del receptor	-96 dBm, modo de impulso habilitado -95 dBm, modo de impulso habilitado	-102 dBm	-102 dBm
Fuente de Voltaje	2.1 - 3.6 V	3.0 - 3.4 V	2.7 - 3.6 V
Frecuencia de operación	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Temperatura de operación	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Interface I/O	3.3 V CMOS UART (no tolera 5 V), DIO, ADC	3.3 V CMOS UART (no tolera 5 V), DIO, ADC	3.3 V CMOS UART (no tolera 5 V), DIO, ADC
Número de canales	16 Canales de secuencia directa	14 Canales de secuencia directa	15 Canales de secuencia directa
Canales	11 a 26	11 a 24	11 a 25
Dimensiones	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)

2.18. Modos de funcionamiento

Los módulos XBee tienen tres modos de operación dentro de una red ZigBee. Estas redes pueden estar configuradas en cualquier topología como se las ha mencionado anteriormente. El modo de operación de estos dispositivos a saber es:

2.18.1. Coordinador

El Coordinador es responsable de seleccionar el canal, la ID del PAN (16 bits y 64 bits), la política de seguridad y el perfil de pila para una red. Como un Coordinador es el

único tipo de dispositivo que puede iniciar una red, cada red ZigBee debe tener un Coordinador. Una vez que el Coordinador ha iniciado una red, puede permitir que nuevos dispositivos se unan a la red. También puede enrutar paquetes de datos y comunicarse con otros dispositivos en la misma red. (DIGI, 2018)

2.18.2. Router

Los enrutadores deben descubrir y unirse a una red ZigBee válida antes de poder participar en la misma. Luego que un enrutador se haya unido a una red, puede permitir que nuevos dispositivos se unan a la red. También puede enrutar paquetes de datos y comunicarse con otros dispositivos en la misma red. (DIGI, 2018)

2.18.3. Dispositivo final

Al igual que los enrutadores, los elementos finales deben descubrir y unirse a una red ZigBee válida antes de participar de dicha red. Luego que un dispositivo final se haya unido a una red, puede comunicarse con otros dispositivos de dicha red. Estos elementos están diseñados para funcionar con batería. Los dispositivos finales no pueden permitir que otros dispositivos se unan, ni enrutar paquetes de datos. (DIGI, 2018)

2.19. Software XCTU

XCTU incluye todas las herramientas que un desarrollador necesita para ponerse en marcha con los módulos XBee. Características como la vista de red en gráfica que representa a la red, el generador de cuadros API, que ayuda intuitivamente a construir e interpretar cuadros API para XBee, se combinan para hacer el desarrollo en la plataforma XBee fácil de usar, ver figura 2.28. (DIGI, 2019)

Otros aspectos destacados de XCTU incluyen las siguientes características:

- Puede administrar y configurar múltiples dispositivos de RF, incluso dispositivos conectados de forma remota.
- El proceso de actualización de firmware restaura a la perfección la configuración de su módulo, manejando automáticamente los cambios de modo y velocidad de transmisión.

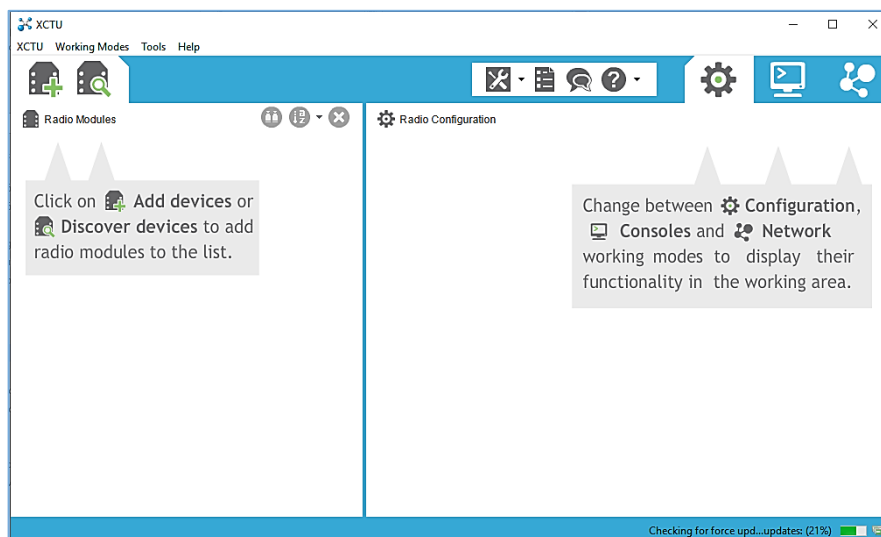


Figura 2. 28: Pestaña para programación de los radios XBee PRO S2.
Fuente: Elaboración propia.

- Dos consolas API y AT específicas se han diseñado desde cero para comunicarse con sus dispositivos de radio.
- Ahora puede guardar sus sesiones de consola y cargarlas en una PC diferente con XCTU.
- XCTU incluye un conjunto de herramientas integradas que se pueden ejecutar sin tener ningún módulo RF conectado:
 - Generador de marcos: genere fácilmente cualquier tipo de marco API para guardar su valor.
 - Intérprete de marcos: decodifique un marco API y vea sus valores de marco específicos.
 - Recuperación: Recupera los módulos de radio que tienen firmware dañado o están en modo de programación.
 - Cargar sesión de consola: cargue una sesión de consola guardada en cualquier PC que ejecute XCTU.

Explorador de firmware: navegue por la biblioteca de firmware de XCTU.

- Un proceso de actualización le permite actualizar automáticamente la aplicación y la biblioteca de firmware de radio sin necesidad de descargar ningún archivo adicional.
- XCTU contiene documentación completa y completa a la que se puede acceder en cualquier momento.

2.20. Fuentes de alimentación

Todos los equipos electrónicos requieren de fuentes de alimentación de corriente directa de bajo voltaje. Estos suministros de energía deben regularse con precisión, con poco ruido y presentar una baja impedancia de salida para admitir cambios de carga. También deben proporcionar protección tanto para la fuente de alimentación como para el equipo final. (Bocock, 2018)

2.20.1. Celdas solares

El corazón de un sistema eléctrico solar es el mismo panel solar. Hay varios tipos de paneles solares. Los paneles solares o, más exactamente, los paneles solares fotovoltaicos, generan electricidad mediante la incidencia de la luz del sol, figura 2.29. Cuanto más poderosa es la energía luminosa del sol, más energía se obtiene. Aunque, los paneles solares continúan generando pequeñas cantidades de electricidad a la sombra.



*Figura 2. 29: Montaje de un sistema de paneles solares en el techo de un hogar.
Fuente: (Boxwell, 2017)*

La mayoría de los paneles solares están formados por células solares individuales, conectadas entre sí. Una célula solar típica solo producirá alrededor de medio voltio, por lo que, al conectarlas en serie dentro del panel, se logra un voltaje más útil.

- Los paneles solares se pueden unir para crear una matriz solar. Conectar varios paneles juntos le permite producir una corriente más alta o funcionar a un voltaje más alto.
- La conexión de paneles en serie hace que una matriz funcione a voltajes más altos.
- Típicamente 12, 24 o 48 voltios DC en un sistema autónomo, varios cientos de voltios en un sistema de conexión a la red.
- Conectar los paneles en paralelo permite que una matriz solar produzca más energía mientras se mantiene el mismo voltaje que los paneles individuales.

- Cuando conecta varios paneles juntos, la potencia del sistema general aumenta, independientemente de si están conectados en serie o en paralelo.

En una matriz solar donde los paneles solares están conectados en serie, como se muestra en el diagrama de la figura 2.30, se suman los voltajes de cada panel y se suma la potencia de cada panel para calcular la cantidad máxima de potencia y voltaje que la matriz solar tendrá generar. (Boxwell, 2017)

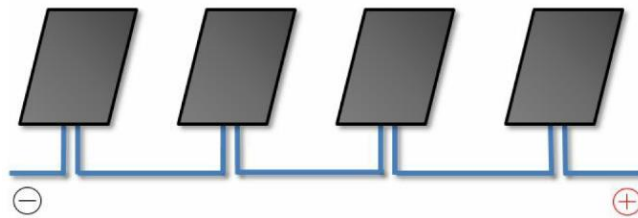


Figura 2. 30: Paneles solares conectados en serie.
Fuente: (Boxwell, 2017)

En una matriz solar donde los paneles solares están conectados en paralelo, como se muestra en el diagrama de la figura 2.31, se toma el voltaje promedio de todos los paneles solares y agrega la potencia de cada panel para calcular la cantidad máxima de energía que generará la matriz solar.

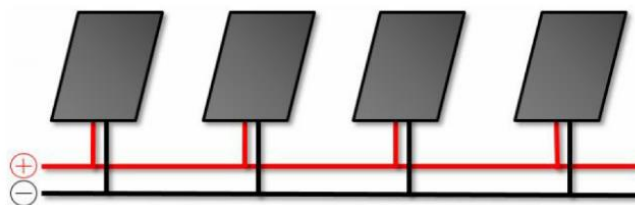


Figura 2. 31: Paneles solares conectados en paralelo.
Fuente: (Boxwell, 2017)

2.20.2. Baterías

Rara vez los paneles solares alimentan equipos eléctricos directamente. Esto es porque la cantidad de energía que acumula la matriz solar varía según la intensidad de la luz del sol. A la vez, esto hace que la fuente de alimentación sea demasiado variable para la mayoría de los equipos eléctricos.

Existen diferentes tecnologías de baterías disponibles para el almacenamiento de energía solar. Estas baterías se parecen a las baterías de los automóviles, figura 2.32, pero tienen un diseño interno diferente. Este diseño les permite ser fuertemente descargados y recargados varios cientos de veces.



Figura 2. 32: Batería de 12 VDC para celda solar.
Fuente: (epcom, 2019)

2.21. Interconexión del conjunto batería-panel solar

El diagrama de bloques simplificado de la figura 2.33, se muestra un sistema eléctrico solar simple e independiente. Si bien los detalles variarán, este diseño forma la base de la mayoría de los sistemas independientes. Este diseño proporciona energía DC de bajo voltaje para hacer funcionar dispositivos eléctricos y electrónicos pequeños, además de un suministro de CA de alto voltaje para hacer funcionar dispositivos más grandes.

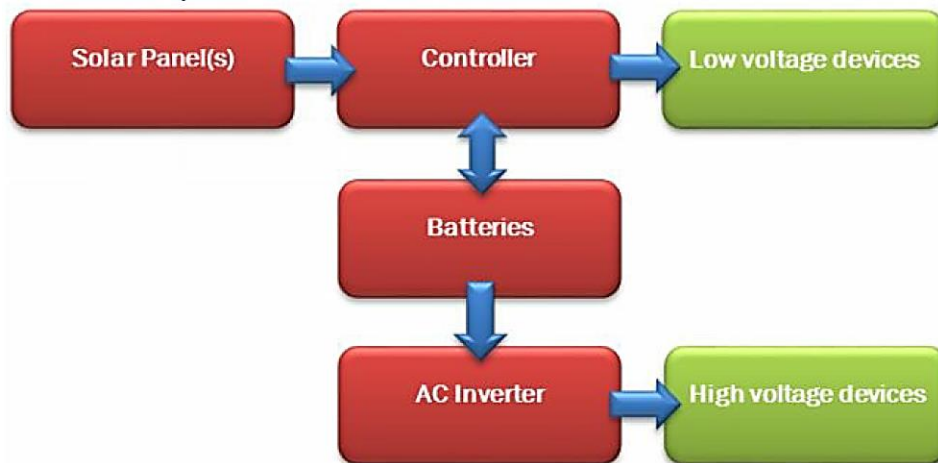


Figura 2. 33: Diagrama de bloques simplificado
Fuente: (Boxwell, 2017)

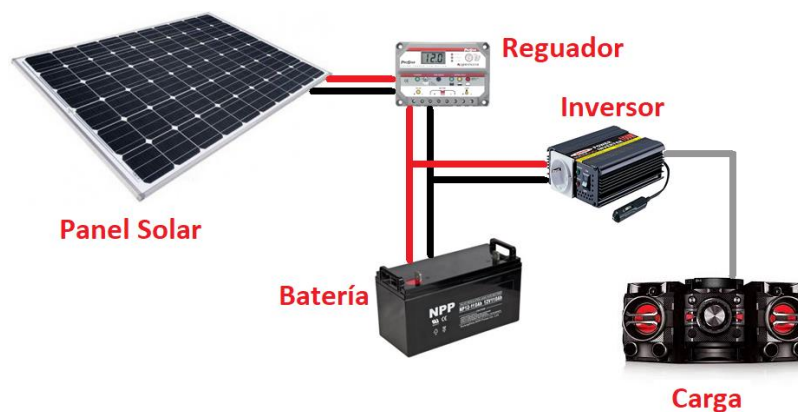


Figura 2. 34: Interconexión de un sistema de energía con panel solar.
Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de la figura 2.34, muestra un esquema de conexión, observar la secuencia y la interconexión de los diferentes elementos que componen el circuito, las flechas muestran el flujo de corriente. El panel solar proporciona la energía, que se alimenta al controlador solar. El controlador solar carga la batería. El controlador también suministra energía a los dispositivos de bajo voltaje, utilizando los paneles solares o las baterías como fuente de esta energía. El inversor de CA toma su energía directamente de la batería y proporciona la fuente de alimentación de CA de alto voltaje. (Boxwell, 2017)

CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Consideraciones generales

A continuación, en la figura 3.1 se muestra un esquema a seguir, que es la base del proceso para el desarrollo de diseño de este proyecto.

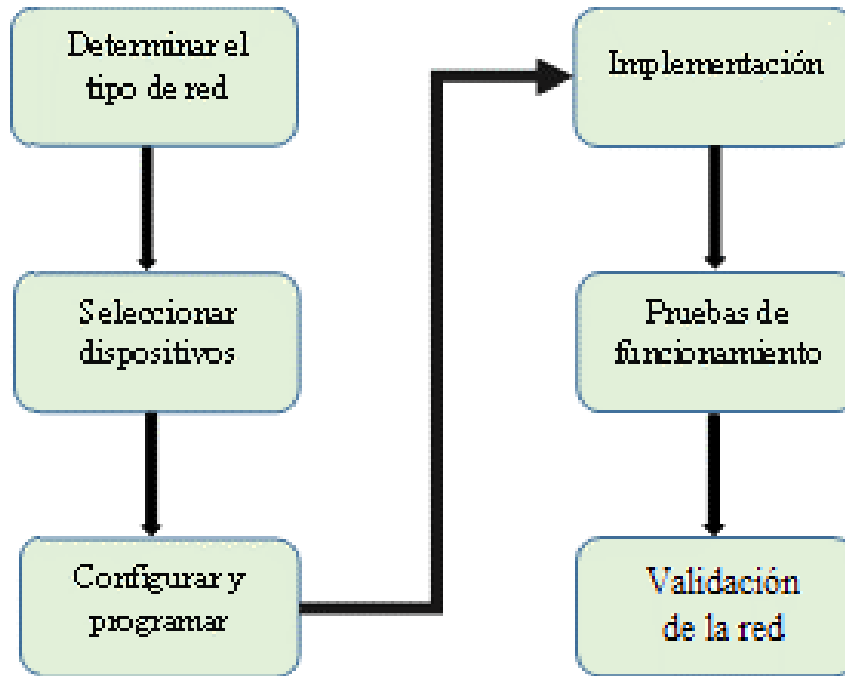


Figura 3. 1: Esquema de proceso a seguir para diseño de proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

Se determina la topología de red que se va utilizar, tomando en cuenta la distribución física de los dispositivos a formar la red. Aquí, se recurre a los conceptos de las topologías de redes para seleccionar que tipo de red se implementará en el diseño.

Luego, se determina el tipo de dispositivos que podrían ser usados para configurar la red, la conectividad que se desarrollará entre cada uno de los elementos transmisores-receptores; y, la recolección de datos que harán los sensores. Estas variables se cuantificarán en un microcontrolador para ser transmitidas, resolviendo la interconectividad entre los nodos sensores y el control del sistema implementado.

Una vez obtenidos los parámetros de las variables de cada sensor, se realizarán las diferentes pruebas de cobertura de la red desde diferentes puntos distantes, con el fin de obtener resultados y medir la interconectividad de los nodos sensores y la respuesta hacia el

control que se desea realizar.

3.2. Descripción del diseño de la red

Nuestra WSN dispondrá de 5 nodos, formada por un nodo Coordinador, un nodo Router y tres nodos Sensores. En estos últimos estarán instalados los elementos que harán el sense de la humedad del terreno en donde los ubique. Cada nodo tendrá incorporado un microcontrolador, el cual definirá y facilitará el proceso de comunicación, identificación y almacenamiento de datos para el proceso de control automático del sistema de riego agrícola.

3.2.1. Topología y arquitectura de la red

Se definió la topología de red como la forma de comunicación en que los nodos que constituyen la red se comunican, es decir la jerarquía para dialogar entre ellos, dando prioridad a llamados y solicitudes de información que requieren por niveles físicos, esto tiene que ver con la distribución como están dispuestas físicamente.

Para este tema de desarrollo se ha elegido la topología de red en árbol, ver figura 3.2, porque es la más eficiente por la disposición física a cubrir de los nodos que se van a usar.

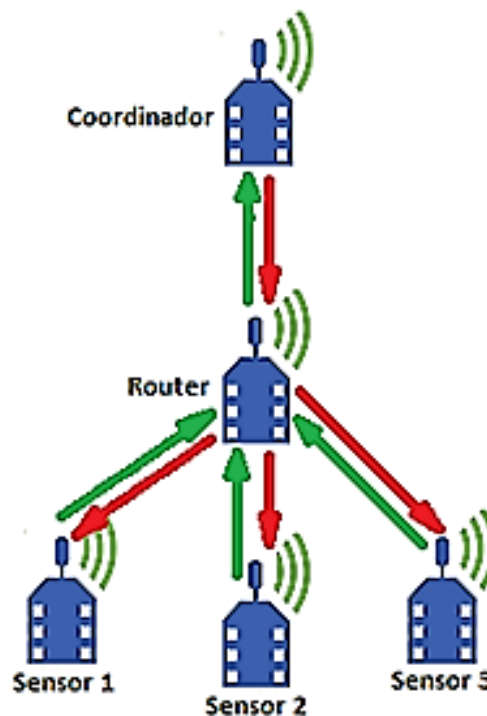


Figura 3. 2: Topología de la red que se usará en este proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

La arquitectura para esta WSN tiene tres niveles jerárquicos, los que determinan la organización adecuada para la interacción entre todos los nodos del sistema. Estos niveles jerárquicos son: nivel de supervisión, nivel de comunicación y nivel de campo. En la gráfica de la figura 3.3 se aprecia ver esta configuración jerárquica. Se analizará el funcionamiento de cada una de ellas.

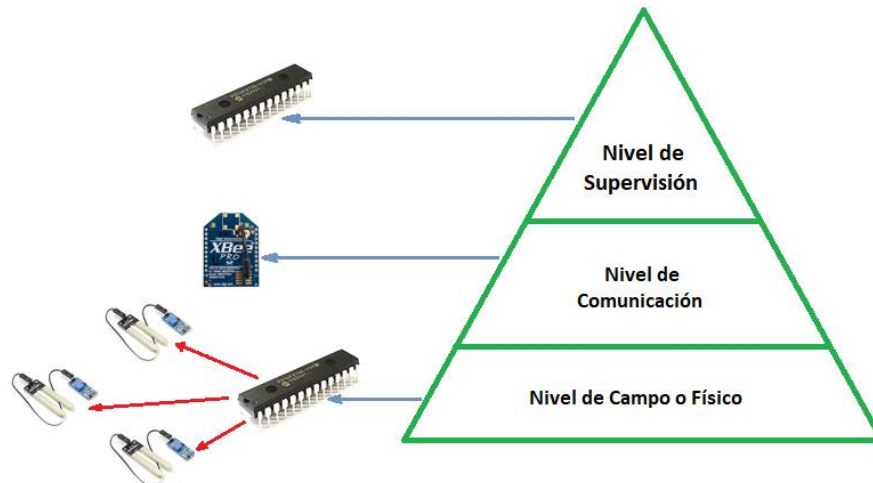


Figura 3. 3: Arquitectura para esta WSN con tres niveles jerárquicos.
Fuente: Elaboración propia.

- Nivel de supervisión: en este nivel se supervisa el normal funcionamiento de la red inalámbrica compuesta por el nodo Coordinador, el Router y los nodos sensores. En este nivel se desarrollará el programa en un para administrar los valores de los parámetros medidos por los elementos sensores de red y también se podrán apreciar cada uno de ellos.
- Nivel de comunicación: La comunicación entre los nodos de la red es muy importante, aquí se definen los protocolos de comunicación para todos los nodos, forma de transmisión, velocidad de transferencia de datos, latencias.
- Nivel de campo: Este nivel tiene que ver con la toma de datos a través de los diferentes nodos sensores instalados en el sitio de prueba o de trabajo. Es la parte final de la red.

3.2.2. Funcionalidad de la red

En la figura 3.4, se muestra un esquema de la funcionalidad de la red inalámbrica. Los nodos sensores miden la humedad del terreno en el que se encuentran ubicados. Aquí, se muestra cómo se configura cada nodo sensor, para que sean reconocidos por el nodo Coordinador, a través de solicitudes de llamado, pidiendo como retorno la información el

valor de la variable humedad medida. El nodo Coordinador reconoce los parámetros medidos y los compara a través de valores existentes es memoria, si uno de ellos no está dentro del rango del valor humedad establecido, el nodo Coordinador envía una orden de encendido al actuador.

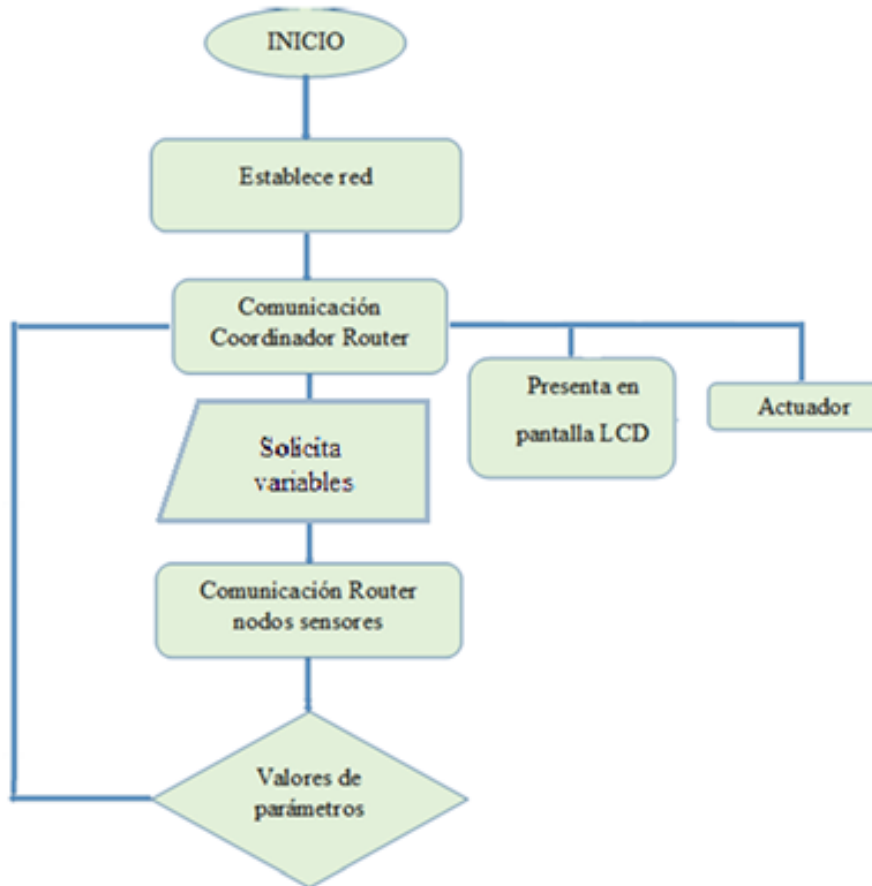


Figura 3. 4: Funcionalidad de la red
Fuente: Elaboración propia.

La configuración del Router es transparente en la red, es decir que la solicitud de datos de las variables que solicita el nodo Coordinador, la redirecciona hacia los nodos sensores. Es decir, entonces que el Router dialoga solamente con el nodo Coordinador y con los nodos sensores, de esta manera se establece la conectividad de la WSN. Una vez que el nodo Coordinador obtiene los datos de las variables, las muestra en el LCD, a más de tomar acciones pertinentes a su función sobre los actuadores, que bien puede ser encender o apagar un motor bomba o una electroválvula.

3.3. Características y funciones del sistema de red

Cada uno de los nodos está formado por un microcontrolador PICF16873, un módulo

XBee PRO S2 y elementos periféricos adicionales para polarización, oscilación e indicadores de actividad del proceso de enrutamiento y monitoreo de señal. La red se divide en dos secciones para efectos de dialogo entre niveles jerárquicos de comunicación y enrutamiento. La primera parte del tramo a forman el nodo Coordinador y el nodo Router.

El Coordinador solicita datos a los nodos sensores a través del nodo Router. El diálogo entre ellos es semiduplex, debido a que el Coordinador hace un requerimiento y el Router hará la solicitud a los nodos sensores; estos a su vez responden en función de a quién se le solicita el dato, recibiendo el Router la información y retransmitiéndola al Coordinador, este último como respuesta la muestra en el LCD además de comparar valores en memoria para gobernar los actuadores. Todos los nodos de la red se alimentan con 5 VDC, y tienen respaldo de energía con una celda solar, para establecer función y operatividad ininterrumpida.

3.4. Configuración de los radios XBee PRO S2

En esta parte se da inicio a la configuración de los radios XBee PRO S2. En la red solo puede haber un XBee Coordinador, elementos Routers y Routers sensores/finales. En esta red se configurará un nodo Coordinador, y nodo Router y 3 nodos sensores. Cada módulo tendrá un icono que puede contener una pequeña imagen con una letra (como se muestra en la figura 3.5) en la esquina inferior derecha que identifica la función de ese módulo dentro de su red,



*Figura 3. 5: Iconos en la etiqueta que indicará la función de cada XBee en la red.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4.1. Configuración del Coordinador

Determina la funcionalidad disponible, como el modo de operación; designación de dispositivo final, enrutador o Coordinador; ajustes especiales de sensor y adaptador; las opciones disponibles dependen del módulo seleccionado. En las figuras 3.6 y 3.7, se observan la etiqueta de configuración como Coordinador, los parámetros de configuración

como el PAN ID es 1234, este dispositivo establece los canales de transmisión y recepción en la configuración de la red, en la dirección se aprecia la dirección propia, la dirección alta y baja con quien mantendrá comunicación y el nombre del módulo.



Figura 3. 6: Etiqueta donde se muestra la configuración del módulo XBee PRO S2
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. 7: Pestañas de configuración parámetros de los módulos XBee PRO S2
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Configuración del Router

El firmware para este dispositivo es diferente, figura 3.8 y 3.9, en ellos se habilita la búsqueda de canales que para que no haya conflictos de comunicación con otros módulos en la misma red. Además, como va a trabajar en modo Router, la configuración de la dirección de alta y de baja es para que escuche o dialogue con todos los miembros de la red que tengan su dirección específicamente.

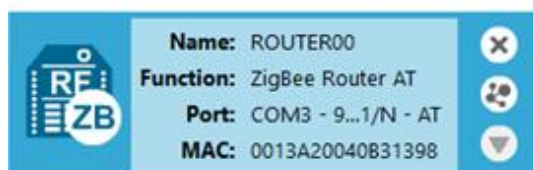


Figura 3. 8: Etiqueta del Router.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. 9: Parámetros de configuración del Router.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Configuración del Router/Sensor/End

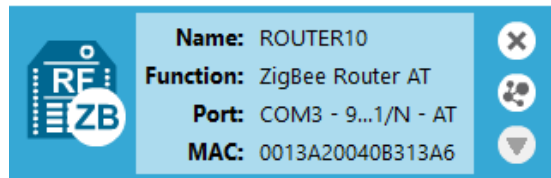


Figura 3. 10: Etiqueta del Router/sensor.
Fuente: Elaboración propia.

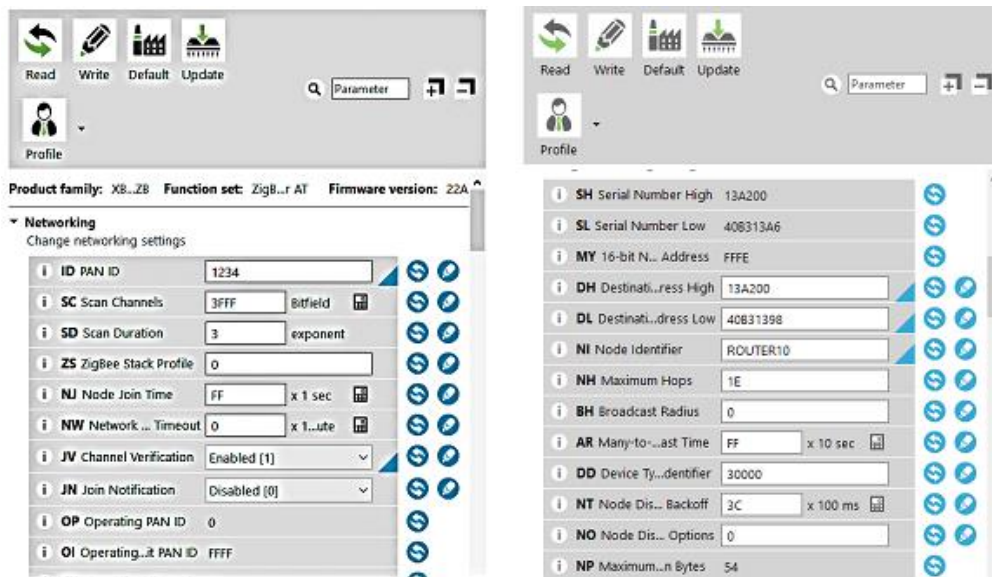


Figura 3. 11: Parámetros de configuración del Router Sensor/End.
Fuente: Elaboración propia.

La configuración del módulo Router/End es muy similar a la del Router. Este dispositivo sólo se comunica y responde a llamados y solicitudes del Coordinador a través del Router.

Los datos que él envía son transparentes al Router y se muestran en el LCD para referencia de valores de la variable medida. En la figura 3.10 se muestra la etiqueta de identificación de nodo sensor 1; y, en la figura 3.11 se muestra la configuración del mismo nodo con el firmware correspondiente.

3.5. Pruebas de comunicación entre módulos XBee PRO S2

Por medio del software XCTU de DIGI y a través del adaptador XBee Explorer conectado al puerto USB de una computadora, se crea un paquete de datos (caracteres) en cada módulo XBee, para enviarlos y hacer pruebas de comunicación entre los módulos XBee Coordinador-Router-Coordinador; y, luego entre Router-sensores-Router.

Cuando un dispositivo XBee envía datos, en la consola de trabajo se presentan los caracteres en color azul y cuando un paquete de datos es recibido, estos caracteres se muestran de color rojo.

A continuación, el diálogo entre los módulos XBEE PRO S2 Coordinador y Router. Se empieza con la transmisión desde el Coordinador hacia el Router. En la figura 3.12, se presenta en letras azules el “mensaje” que envía el Coordinador hacia el Router y en la figura 3.13 se muestra en letras rojas lo que receipta el Router por parte del Coordinador.

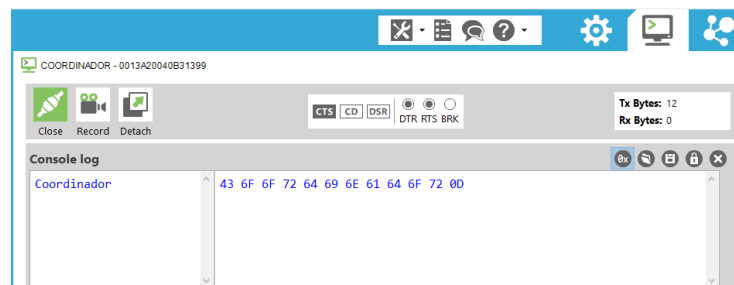


Figura 3. 12: Coordinador enviando paquete de datos “Coordinador”.
Fuente: Elaboración propia.

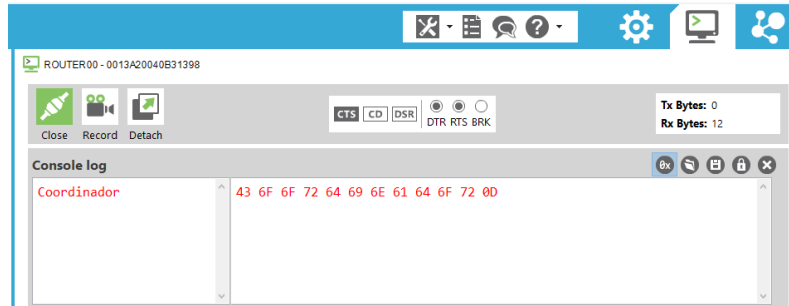


Figura 3. 13: Router mostrando datos enviado por el Coordinador.
Fuente: Elaboración propia.

Se hará prueba de transmisión desde el Router hacia el Coordinador para comprobar el enlace de comunicación entre ambos nodos XBee. En la figura 3.14, se presenta en letras azules el “mensaje” que envía el Router hacia el Coordinador y en la figura 3.15, se muestra en letras rojas lo que recibe el Coordinador por parte del Router.

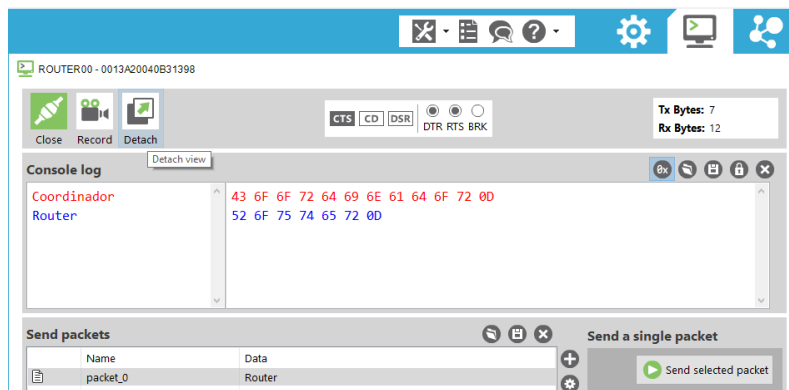


Figura 3. 14: Router mostrando datos enviados al Coordinador.
Fuente: Elaboración propia.

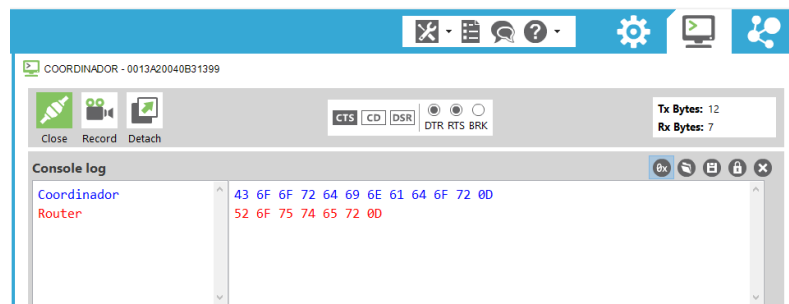


Figura 3. 15: Coordinador mostrando datos enviados por el Router.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la figura 3.16 se muestra en letras rojas el mensaje recibido en el nodo sensor 1 desde el Router. De igual forma, se muestra en las figuras 3.17 y 3.18 el mensaje en los nodos sensores 2 y 3, recibido desde el Router.

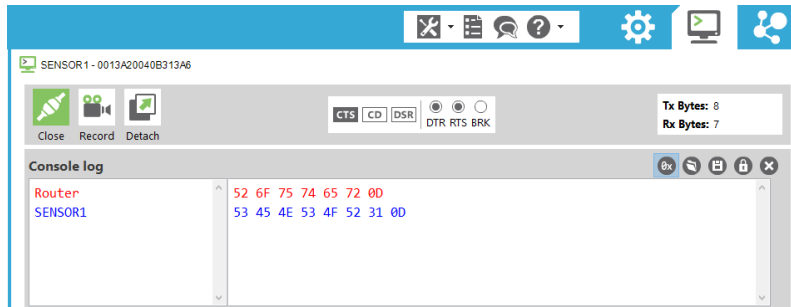


Figura 3. 16: Nodo sensor 1 respondiendo solicitud de Router.
Fuente: Elaboración propia.

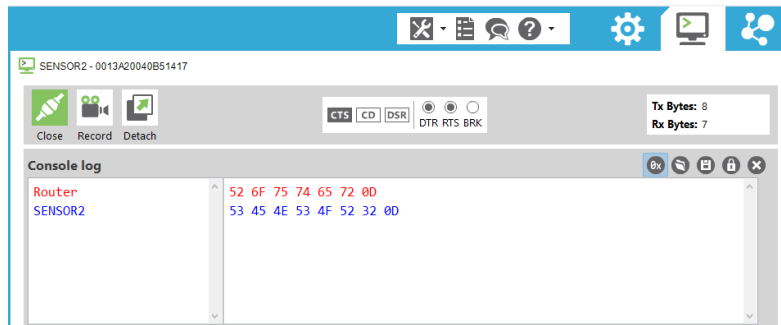


Figura 3. 17: Nodo sensor 2 respondiendo solicitud de Router.
Fuente: Elaboración propia.

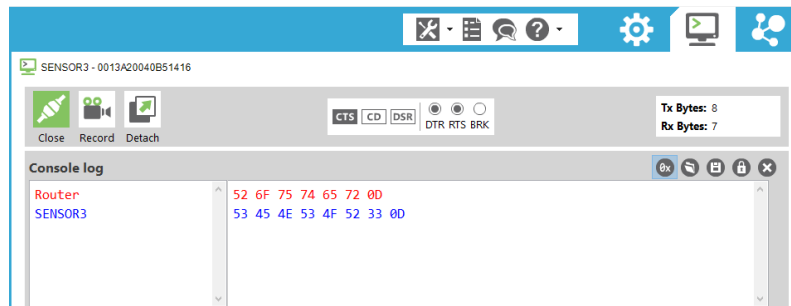


Figura 3. 18: Nodo sensor 3 respondiendo solicitud de Router.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez recibidos los datos del Router en cada uno de los nodos sensores, se envía datos como respuesta por parte de cada uno de estos hacia aquel, confirmando de esta manera la comunicación entre los nodos sensores 1-2-3 y el nodo Router, se muestran los resultados de dicha prueba en la figura 3.19. Nótese que los datos que envía el Router están en color azul y los datos que reciben los sensores en color rojo. De igual manera sucede con los datos que envían los sensores, se presenta en cada uno de ellos en letras de color azul y los que recibe el Router se muestran en color rojo.

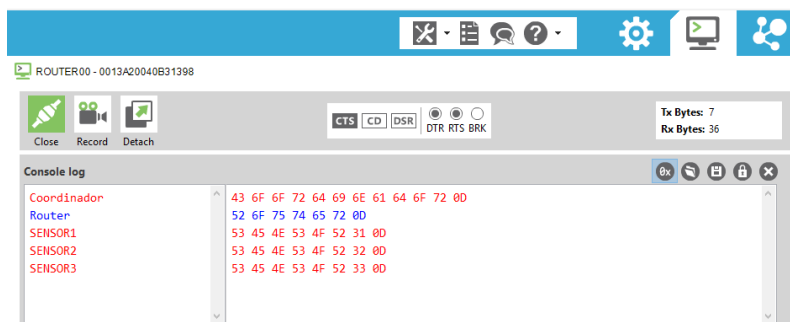


Figura 3. 19: Nodo Router mostrando respuesta de nodos sensores.
Fuente: Elaboración propia.

3.6. Selección de microcontrolador

El microcontrolador que se utilizará es el PIC16F873A, este micro tiene ventajas por su tamaño y como se lo aplica en toda la red para el control de la comunicación por medio del ID de cada nodo, no del módulo XBee PRO S2 que es un ID diferente. Otra de las ventajas de este microcontrolador es el voltaje al cual puede trabajar (3.3 a 5 VDC). Se adjunta una parte del datasheet del microcontrolador en la tabla 3.1

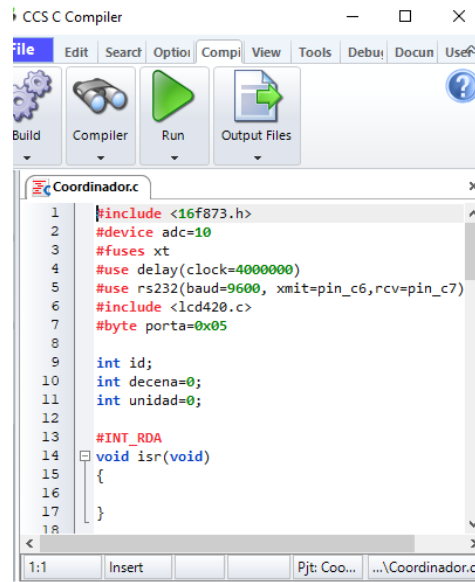
Tabla 3. 1: Datos técnicos del PIC16F873A.
Fuente: Elaboración propia.

Característica	PIC16F873A
Frecuencia de operación	DC-20MHz
Reinicio (y retardos)	POR, BOR (PWR, OST)
Memoria flash (14 bits)	4K
Datos de memoria (bytes)	192
Datos de memoria EEPROM (bytes)	128
Interrupciones	14
Puertos I/O	Puertos A, B, C
Temporizadores	3
Módulos PWM	2
Comunicaciones seriales	MSSP, USART
Comunicaciones paralelas	-----
Módulo Analógico a Digital (10 bits)	5 canales de entrada
Compradores analógicos	2
Instrucciones	35 instrucciones
Empaquetado (pines)	28 pines PDIP, SOIC, SSOP, QFN

3.7. Desarrollo de la programación

El lenguaje de la programación utilizado para los microcontroladores PIC es el C COMPILER, las lógicas de las rutinas son de estructura algo complejas, tanto para el programa del microcontrolador que estará en el nodo Coordinador como el de los nodos Router y Router/Sensor. En la figura 3.20 se muestra el encabezado del programa del Coordinador desarrollado en C++; y, en la figura 3.21 se muestra el programa PICKIT3 que

se utiliza para grabar el programa en el PIC16F873A.



```
1 #include <16f873.h>
2 #device adc=10
3 #fuses xt
4 #use delay(clock=4000000)
5 #use rs232(baud=9600, xmit=pin_c6,rcv=pin_c7)
6 #include <lcd420.c>
7 #byte porta=0x05
8
9 int id;
10 int decena=0;
11 int unidad=0;
12
13 #INT_RDA
14 void isr(void)
15 {
16
17
18 }
```

Figura 3. 20: Se aprecia el encabezado del programa que gobierna red de datos.
Fuente: Elaboración propia.

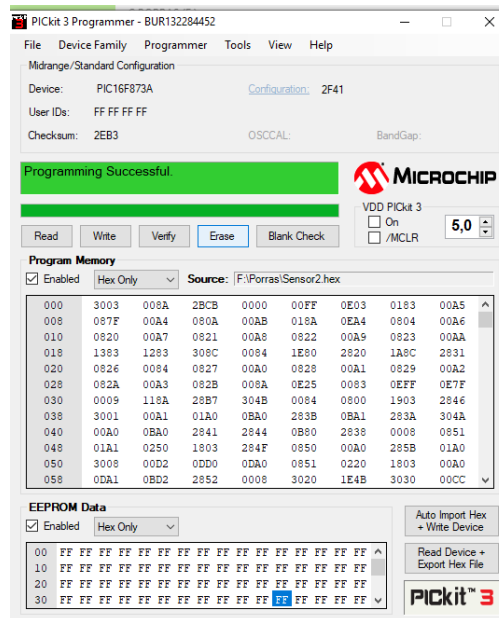


Figura 3. 21: Pestaña del quemador de PIC, PICKIT3.
Fuente: Elaboración propia.

3.8. Implementación y pruebas de la red inalámbrica

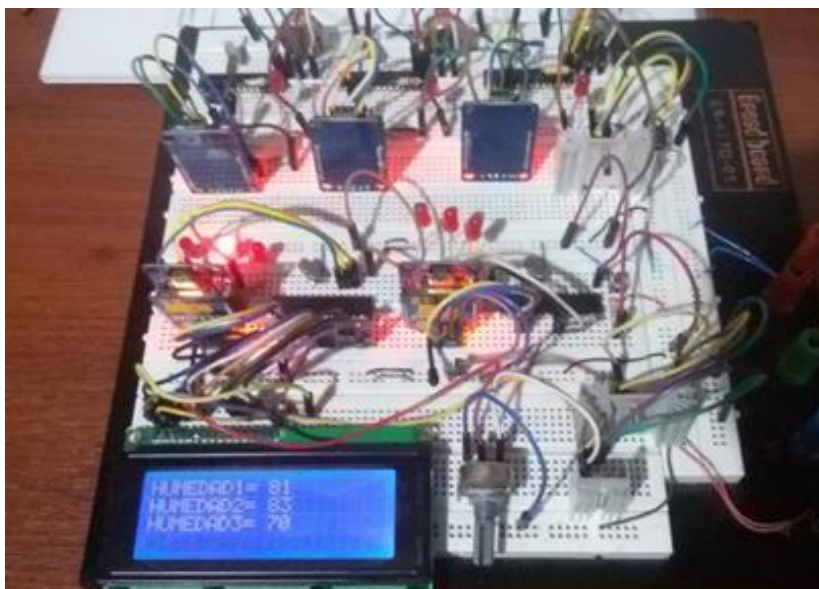
Se ha dispuesto para una simulación en reemplazo de los sensores de humedad, potenciómetros de 5KΩ (figura 3.22) para que activen y determinen el funcionamiento de la WSN y los valores de variación de voltaje de estos potenciómetros se muestren el LCD.



*Figura 3. 22: Potenciómetro de 5KΩ para simular actividad del sensor de humedad.
Fuente: Elaboración propia.*

Se arma en un protoboard el proyecto para iniciar las pruebas de funcionamiento XBee PRO S2 ya configurados, figura 3.23. La prueba de comunicación se la realiza según la topología de la red que se desea conformar. La secuencia de funcionamiento es como sigue:

- El Coordinador solicita dato de sensor1 a través del Router.
- El microcontrolador envía un ID en la cabecera de transmisión para que el Router envíe la solicitud de requerimiento de dato al sensor1.
- Este responde enviando dato al Coordinador a través del Router.
- El Coordinador enciende un led indicando que ha recibido el paquete de datos solicitado, mostrando el valor de la humedad del sensor1 en el LC.
- Este proceso se repite en cada uno de los sensores hasta que todos los valores de humedad sean presentados en el LCD.



*Figura 3. 23: Tablero o protoboard con el circuito armado y funcionando.
Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 3.24 se aprecia el LCD mostrando valores de sensores de humedad, de temperatura del terreno y su pH. A cada cambio del valor de voltajes de los sensores, hay una respuesta en el LCD.



Figura 3. 24: Se muestra LCD con valores de parámetros en detalle.
Fuente: Elaboración propia.

3.9. Operación de la red

Se instalan los nodos sensores a una distancia de 60m al nodo Router y de 20m entre ellos, con diferencia de humedad de terrenos en el lugar en donde se instalan, asegurando que tengan línea de vista entre los nodos sensores y el nodo Coordinador. La distancia que hay entre el nodo Router y el nodo Coordinador será de 30m aproximadamente, instalado en una base de madera, igual con línea de vista hacia el Router. En la figura 3.25 se muestra el esquema utilizado para la instalación de la red formada por los nodos Coordinador-Router-Sensores.

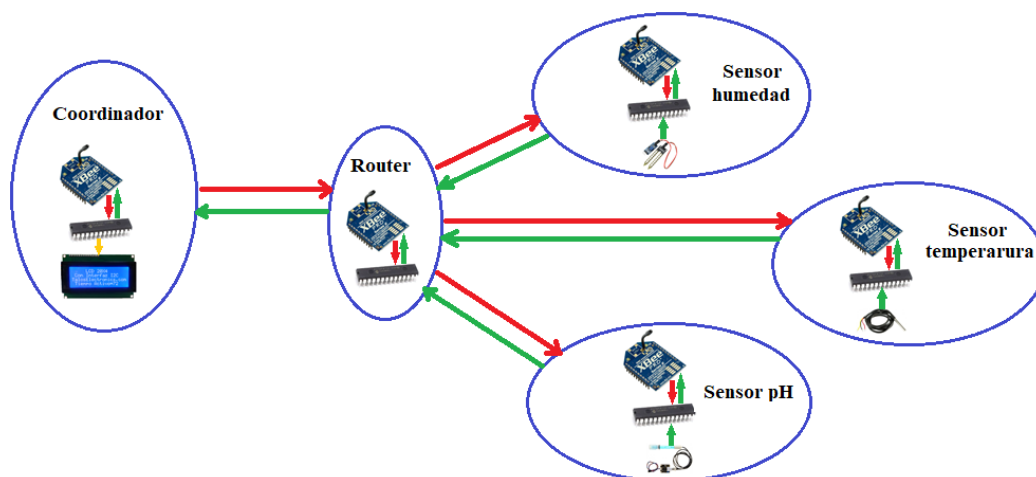


Figura 3. 25: Configuración de red para hacer monitoreo de variables agrícolas.
Fuente: Elaboración propia.

3.10. Elementos de los nodos

Todos los nodos que integran la red de sensores, están formados por diferentes elementos. A continuación, se detalla dichos elementos.

3.10.1. Elementos del nodo Coordinador

El nodo Coordinador está formado por un módulo XBee PRO S2, configurado con el firmware mediante el software XCTU de DIGI. Este módulo transceiver opera en la banda

ISM en 2.4GHz, tiene 16 canales, cada canal separado por un ancho de banda de 5MHz. Su potencia de transmisión es de 63mW y una sensibilidad de -102dB.

Para controlar la red y el flujo de datos, se incorpora un μC PIC16F873A, con un oscilador de 4MHz a 8bits. Este PIC está programado en lenguaje C++. Los resultados, de la operación de este nodo, son mostrados en una pantalla LCD de 20X4. En la figura 3.26 se muestra el esquema del circuito del nodo Coordinador.

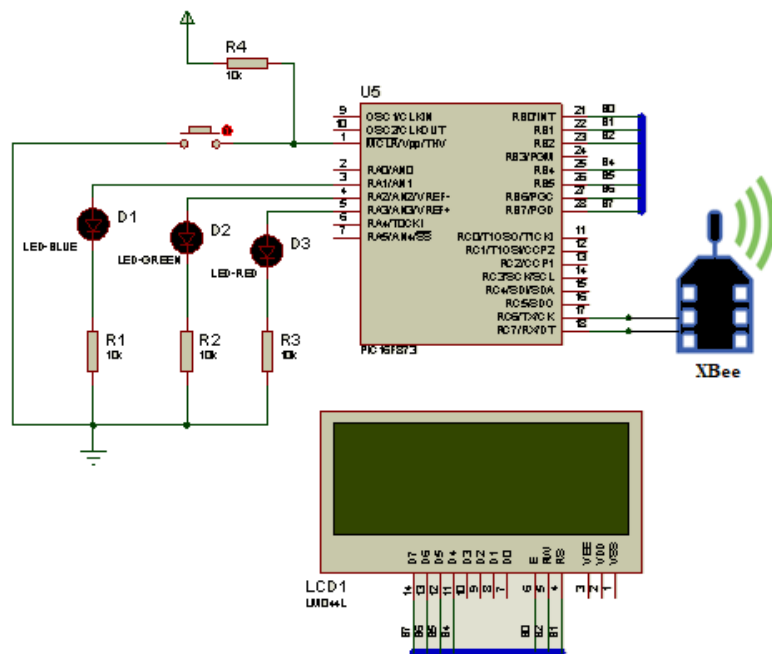


Figura 3. 26: Diagrama de circuito del nodo Coordinador
Fuente: Elaboración propia.

3.10.2. Elementos del nodo Router

El nodo Router está formado por un módulo XBee PRO S2, al igual que el módulo Coordinador, está configurado con el firmware para esa función por medio del software XCTU de DIGI. Este módulo transceiver también opera en la banda ISM en 2.4GHz, tiene 16 canales y cada canal está separado por un ancho de banda de 5MHz. Su potencia de transmisión es de 63mW y una sensibilidad de -102dB.

A diferencia del Coordinador, este módulo verifica el canal por donde se hace la comunicación, es una característica de estos dispositivos. Para tener el control sobre la red, este nodo también tiene incorporado un μC PIC16F873A, el mismo que trabaja a una frecuencia de 4MHz a 8bits. Este PIC está programado en lenguaje C++. Las actividades del

nodo se aprecian mediante el encendido y apagado de LED incorporados en el circuito. En la figura 3.27 se muestra el esquema del circuito del nodo Router.

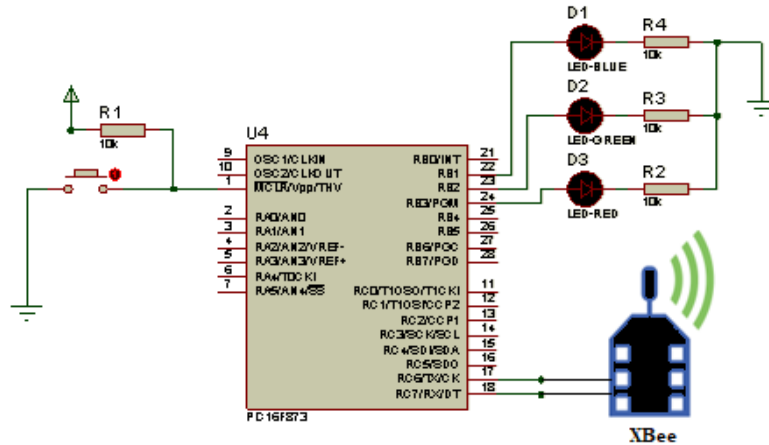


Figura 3. 27: Diagrama de circuito del nodo Router
Fuente: Elaboración propia.

3.10.3. Elementos de los nodos Sensores

Al igual que los nodos anteriores, los nodos Sensores o también llamados nodos de elementos final, también están formados por un módulo XBee PRO S2, configurados con el firmware correspondiente para esa función por medio del software XCTU de DIGI. Este módulo transceiver también opera en la banda ISM en 2.4GHz, tiene 16 canales y cada canal está separado por un ancho de banda de 5MHz. Su potencia de transmisión es de 63mW y una sensibilidad de -102dB.

Estos módulos también hacen la verificación de canales por donde se hace la comunicación, es un atributo de estos dispositivos. Para tener el control sobre las mediciones de las variables que emiten los sensores, estos nodos también tienen incorporado cada uno un μ C PIC16F873A, los mismos que también trabajan a una frecuencia de 4MHz a 8bits.

Estos PIC están programados en lenguaje C++. Las actividades de cada nodo sensor se aprecian mediante el encendido y apagado de un LED incorporado en cada uno de los circuitos correspondientes.

En la figura 3.28 se muestra el esquema del circuito del nodo Sensor. Cabe mencionar que los circuitos de los tres nodos sensores que se presentan en este diseño de red, son iguales, excepto por el contenido del programa de cada PIC, como es lógico, su programación es diferente, pues cada nodo sensor obedece a un llamado del nodo Coordinador.

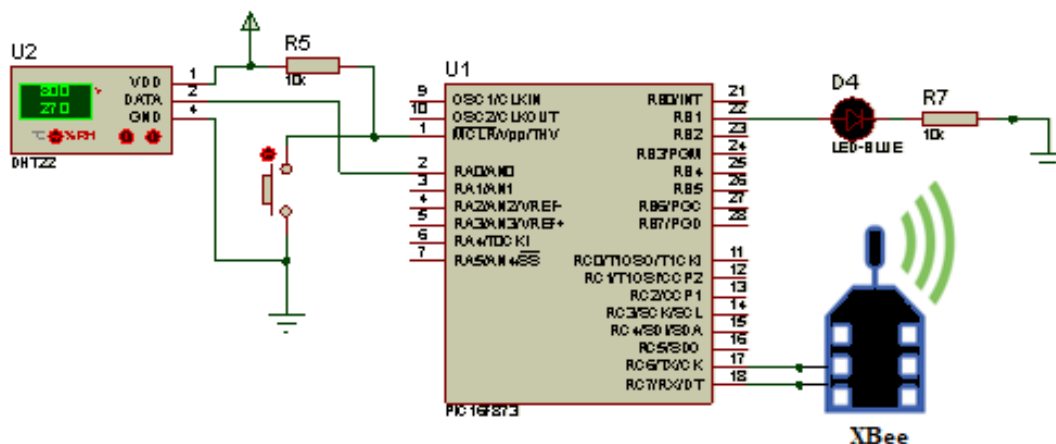


Figura 3. 28: : Diagrama de circuito del nodo sensor.
Fuente: Elaboración propia.

3.11. Pruebas de funcionamiento de la red de sensores

Para verificar el funcionamiento de la red, se realizan pruebas de campo en la finca del señor Luis Maldonado, ubicada en el recinto “Los monos”, del cantón Milagro, provincia del Guayas. Con el apoyo de trabajadores en una plantación de banano de 4Ha, con vegetación promedio de 5 a 6 metros de altura, hubo necesidad de elevar los módulos nodales para realizar las pruebas. La primera, se desarrolla para conocer la pérdida de datos versus cobertura (alcance). A continuación, se muestra en la tabla 3.2 los resultados obtenidos.

Tabla 3. 2: Tabla de resultados datos perdidos o falla vs cobertura.
Fuente: Elaboración propia.

Coordinador-Router			Router-Sensores		
Distancia (m)	Nº veces	Datos perdidos	Distancia (m)	Nº veces	Datos perdidos
~ 10	5	0	~ 10	5	0
~ 30	5	0	~ 30	5	0
~ 50	5	1	~ 50	5	1
~ 70	5	2	~ 70	5	2
~ 90	5	3	~ 90	5	3

La segunda prueba que se realizó, para obtener la respuesta de duración de las baterías y celdas solares versus la pérdida de datos, durante un periodo de funcionamiento de 6 horas aproximadamente. Hay que mencionar que, aunque los datos se perdían cuando se aumentaban las distancias superiores a los 60 metros, la energía de las celdas no variaba y el nodo no caía por falta de voltaje. En la tabla 3.3 se muestra ese resultado.

Tabla 3. 3: Tabla de resultados datos perdidos o falla vs voltaje.

Fuente: Elaboración propia.

Coordinador-Router			Router-Sensores		
Distancia (m)	Voltaje(V)	Datos perdidos	Distancia (m)	Voltaje (V)	Datos perdidos
~ 10	5	0	~ 10	5	0
~ 30	5	0	~ 30	5	0
~ 50	5	1	~ 50	5	1
~ 70	5	2	~ 70	5	2
~ 90	5	3	~ 90	5	3

3.12. Cálculo de costos de construcción e implementación

En la tabla 3.4 se presenta un detalle de costos de los elementos que se usan en este proyecto para su implementación en maqueta.

Tabla 3. 4: Costos de los elementos que se usaron en la implementación de la red.

Fuente: Elaboración propia.

Cantidad	Descripción	Valor	
		Unitario	Total
5	XBee PRO S2	\$ 36	\$ 180
5	Shield Explorer Regulator	\$ 12	\$ 60
5	PIC16F873A	\$ 7.50	\$ 37.50
5	Zócalos DIP14	\$ 0.50	\$ 2.50
5	LM7805	\$ 1.25	\$ 6.25
5	Celdas solares 5W	\$ 8.00	\$ 40
5	Porta pilas	\$ 1.00	\$ 5
20	Pilas recargables AA	\$ 4.50	\$ 90
3	LED azules	\$ 0.50	\$ 1.50
3	LED verdes	\$ 0.50	\$ 1.50
3	LED rojos	\$ 0.50	\$ 1.50
1	LCD display 20X4	\$ 14	\$ 14
5	Pulsadores	\$ 0.25	\$ 1.25
1	Sensor de humedad de suelo	\$ 4.75	\$ 4.75
1	Sensor de temperatura de suelo	\$ 15	\$ 15
1	Sensor de pH de suelo	\$ 30	\$ 30
15	Resistencias de 470Ω/0.25W	\$ 0.10	\$ 1.50
Suma total			\$ 492.25

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

La información obtenida de las consultas a expertos en el tema agrario resultó muy valiosa, puesto que en base a ello se logró comprobar la respuesta de los sensores de humedad, temperatura y pH del suelo.

La topología TREE de la WSN elegida, determinó la configuración de cada uno de los nodos para establecer una pequeña red distribuida y funcional, dicha red se logró conformar con un nodo Coordinador, un nodo Router y tres nodos sensores. Haciendo posible inicialmente construir en forma experimental un control automático que se perfila para ser de grandes expectativas.

Las pruebas de conectividad que se realizaron tanto en laboratorio como en el campo fueron satisfactorias. En lugares cerrados no hubo pérdidas de paquetes. Los rangos de cobertura en lugar abierto para propagación alcanzaron entre 60 y 90 metros promedio de distancia entre nodos.

La respuesta de la cobertura o alcance en distancia versus la pérdida de datos o falla de comunicación a tan poca distancia, se pueden dar por la densa vegetación que en el momento de hacer las pruebas de campo se tenían. Las celdas solares y la fuente de poder instalada en cada nodo sensor nunca decayeron su voltaje.

Cabe recalcar que el funcionamiento de esta WSN, resultó aceptable bajo condiciones iniciales sin interferencias físicas y por largos periodos de actividad. El bajo costo en el que redonda su implementación, construcción y montaje hacen de este proyecto viable.

4.2. RECOMENDACIONES

Debido a la facilidad que puede prestar esta red para aplicaciones en telemetría, se recomienda hacer una interface gráfica en LabView, para procesar y almacenar los datos y poder tabularlos para su análisis.

Hacer pruebas incrementando el número de nodos/Routers, nodos/sensores y al mismo

tiempo producir saltos en la red, para comprobar alcances y coberturas en distancias de transmisión-recepción mucho mayores a las ya realizadas.

Se recomienda hacer pruebas múltiples con los radios XBee PRO S2 para utilización didáctica, lo que es uno de los motivos de diseño de fabricante.

4.3. TRABAJOS FUTUROS

Uno de los más destacados tópicos en donde se aplican las redes de sensores inalámbricas es la investigación y monitoreo. Por lo tanto, es posible expandir búsqueda de entornos para aplicaciones en estudios de cultivos, en la industria camaronera, en la piscicultura. Adicionalmente se puede incrementar la aplicación en esos entornos son un servicio de seguridad perimetral. Esto último haría de la red un sistema con gran expectativa y valor agregado.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Baškys, A. (2012). *Microcontrollers*. Obtenido de <http://dspace.vgtu.lt>

BEDER International University. (2017). *BEDER International University*. Obtenido de <https://bederinternationaluniversity.com>

Bocock, G. (2018). *The Essential Guide to Power Supplies*. Obtenido de <https://www.xppower.com>

Boxwell, M. (2017). *Solar Electricity Handbook*. Obtenido de <http://www.sabz-energy.com>

DIGI. (2018). *XBee/XBee-PRO ZB RF Modules User Guide*. Obtenido de <https://www.digi.com>

DIGI. (2019). *XCTU*. Obtenido de <https://www.digi.com>

EDN Network. (2014). *Linearizar termistores con nueva fórmula*. Obtenido de <https://www.edn.com>

epcom. (2019). *Baterías*. Obtenido de <https://www.epcom.net>

FAO. (2018). <http://www.fao.org/ecuador>. Obtenido de <http://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/1148011/>

Fernández, R., & Ordieres, J. (2009). *Redes inalámbrica de sensores: Teoría y aplicación práctica*. Obtenido de <https://www.researchgate.net>

Fraden, J. (2015). *Handbook of Modern Sensors*.

García, J., Manotas, A., & Acosta, R. (2014). *Revisión del estado del arte de Redes Zigbee en WSN*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org>

- González, A. (2018). *Estudio del Estándar Zigbee*. Obtenido de <http://profesores.elo.utfsm.cl>
- Gupta, K., & Sikka, V. (2015). *Design Issues and Challenges in Wireless Sensor Networks*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org>
- Hernández Sampieri, R. D. (2014). *Metodología de la investigación*.
- Hunter, G., & Stetter, J. (2012). *Smart Sensor Systems*. Obtenido de <https://www.researchgate.net>
- INAMHI. (2014). <http://www.serviciometeorologico.gob.ec>. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf>
- Kochhar, A., & Kaur, P. (2018). *Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey*. Obtenido de <https://www.itl.waw.pl/czasopisma/JTIT/2018/1/77.pdf>: <https://www.itl.waw.pl>
- Lim, J. (2011). *Evolución de los microcontroladores*. Obtenido de <https://sites.google.com>
- Lu, N. (2009). *A Novel Routing Algorithm for Hierarchical Wireless Sensor Networks*. Obtenido de <https://www.researchgate.net>
- MICROCHIP. (2019). *AVR MCUs Microchip Technology*. Obtenido de <https://www.microchip.com>
- Muthu, N., & Sonya, R. (2018). *Principles of Wireless Communications*. Obtenido de <https://www.researchgate.net>
- Pandya, K. (2013). *Network Structure or Topology*. Obtenido de <http://ijarcsms.com>
- Pérez, J., Urdaneta, E., & Custodio, A. (2014). *Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos*. Obtenido de <http://www.scielo.org.ve>

- Sánchez, S. (2011). *Evolución del microcontrolador*. Obtenido de <https://microcontroladoresesv.wordpress.com/>
- Sarkar, A., & Senthil, T. (2016). *Routing protocols for wireless sensor networks: What the literature says?* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com>.
- Springer Handbooks. (2009). *Springer Handbook of Automation*. Obtenido de <https://www.researchgate.net>
- Tiwari, P., Saxena, V., & Bhavsa, D. (2015). *Wireless Sensor Networks: Introduction, Advantages, Applications and Research Challenges*. Obtenido de <https://www.researchgate.net>
- Vásconez, J. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo inalámbrico mediante radiofrecuencia, Bluetooth y SMS en aplicaciones domótica*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec>
- Vera, C., Barbosa, J., & Pabón, D. (2014). *Acople de sensores en la medición de variables ambientales usando tecnología ZigBee*. Obtenido de <https://www.redalyc.org>
- Vera, C., Barbosa, J., & Pavón, D. (2015). *Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales*. Obtenido de <http://www.redalyc.org>
- Wang, C.-C. (2018). *Un sensor de temperatura CMOS de alta precisión con calibración lineal de termistor en el rango de temperatura (-5 ° C, 120 ° C)*. Obtenido de <https://www.mdpi.com>
- Webster, J. (1999). *Measurement Instrumentation Sensors*. Obtenido de <http://www.kelm.ftn.uns.ac.rs>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **PORRAS TOBAR, CARLOS FELIPE** con C.C: # **0906259528** autor del trabajo de titulación: **Diseño de una red de sensores inalámbricos mediante transmisores y receptores XBee** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **11 de septiembre de 2019**

f. _____

Nombre: **PORRAS TOBAR, CARLOS FELIPE**

C.C: **0906259528**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Diseño de una red de sensores inalámbricos mediante transmisores y receptores XBee		
AUTOR(ES)	CARLOS FELIPE PORRAS TOBAR		
REVISOR/TUTOR	ING.LUIS SILVIO CÓRDOVA RIVADENEIRA, MSC		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TITULO BTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	11 de septiembre de 2019	NÚMERO DE PÁGINAS	88
ÁREAS TEMÁTICAS:	Redes, programación, control		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Red de sensores, XBee, microcontroladores PIC, LCD, escalable, flexible, bajo costo		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Este trabajo muestra cómo se desarrolla una red de sensores inalámbricos usando como elementos de comunicación el dispositivo transceiver XBee PRO S2, la red basa su funcionamiento con microcontroladores PIC16F873A de 32 bits, los que controlan el flujo de datos tomados desde los sensores, para mostrarlos en una pantalla LCD. Las investigaciones realizadas sobre redes inalámbricas son muchas, pero de igual forma son de innumerable aplicación. Se ha realizado el desarrollo de una red aplicable para ayudar en las necesidades del hombre de nuestro campo costero agrícola. Como resultado se ha obtenido una red de sensores inalámbricos mediante transceiver XBee PRO S2, escalable, flexible, de baja transferencia de datos, programable, de bajo consumo energético, auto-sostenible y lo más importante accesible y de bajo costo. Recientes trabajos muestran aplicaciones de las redes inalámbricas para monitoreo en domótica e inmótica, monitoreo de procesos industriales y en la medicina para monitoreo en la salud de pacientes. Nuestro trabajo se perfila y se puede llevar hacia otros entornos físicos de investigación y desarrollo de la agroindustria y la acuicultura.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4070300	E-mail: carlos.porras.tobar@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Ing. Eduardo Mendoza Merchán, MSc.		
	Teléfono: +593-9-85086815		
	E-mail: edu.mendoza@hotmail.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			